



T.C.

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İŞLETME ANABİLİM DALI

DOKTORA PROGRAMI

**GELENEKSEL MONTAJ HATTI ÜRETİM SİSTEMİNİN DÖNEN
SERU ÜRETİM SİSTEMİNE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ VE BİR
UYGULAMA**

DOKTORA TEZİ

Çağdaş YILDIZ

Danışman: Doç. Dr. Adem TÜZEMEN

TOKAT-2024

ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Adem TÜZEMEN danışmanlığında hazırlamış olduğum “Geleneksel Montaj Hattı Üretim Sisteminin Serü Üretim Sistemine Dönüştürülmesi ve Bir Uygulama” adlı Doktora tezinin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

17/12/2024

Çağdaş YILDIZ

JÜRİ KABUL VE ONAY

Çağdaş YILDIZ tarafından hazırlanan “**Geleneksel Montaj Hattı Üretim Sisteminin Dönen Serü Üretim Sistemine Dönüştürülmesi Ve Bir Uygulama**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 27.11.2024 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı’nda Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı Soyadı)

İmzası

Üye (Başkan) : Doç. Dr. Adem TÜZEMEN

.....

Üye : Prof. Dr. Aşkın ÖZDAĞOĞLU

.....

Üye : Doç. Dr. Emre ASLAN

.....

Üye : Doç. Dr. Serap BARIŞ

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mert TOPOYAN

.....

ONAY

...../...../.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEŞEKKÜR

Akademik hayatımın en önemli dönüm noktası olan yüksek lisans eğitimimden başlayarak doktora sürecimin sonuna kadar, bilimsel düşünce sistematüğimin gelişmesinde ve bu tezin ortaya çıkmasında büyük emeğı olan, engin bilgi ve tecrübelerini her zaman benimle paylaşan, akademik yolculuğumda bana hem bir hoca hem de bir yol gösterici olan, desteğini ve rehberliğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Adem TÜZEMEN'e en derin saygı ve şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım süresince engin bilgi birikimi ve değerli görüşleriyle akademik gelişimime yön veren, bilimsel bakış açımın gelişmesinde önemli katkıları olan değerli hocam Doç. Dr. Emre ASLAN'a içtenlikle teşekkür ederim.

Yüksek lisans ve doktora eğitimim boyunca değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, akademik vizyonumun gelişmesinde önemli katkıları olan, desteğini her zaman yanımda hissettiğim kıymetli hocalarım Doç. Dr. Tuğba KILIÇER ve Doç. Dr. Elif BOYRAZ'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu zorlu yolculukta her adımda yanımda olan, beni sürekli cesaretlendiren ve yüreklendiren canım annem başta olmak üzere, tüm aileme sonsuz minnet ve şükranlarımı sunarım. Onların sonsuz sevgileri, inançları ve özverili destekleriyle bu yolculuk çok daha anlamlı ve değerli hale geldi. Her birine ayrı ayrı teşekkür ediyor, sevgi ve saygılarımı sunuyorum.

Çağdaş YILDIZ

ÖZET

GELENEKSEL MONTAJ HATTI ÜRETİM SİSTEMİNİN DÖNEN SERU ÜRETİM SİSTEMİNE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ VE BİR UYGULAMA

YILDIZ, Çağdaş

Doktora, İşletme Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç Dr. Adem TÜZEMEN

Aralık 2024, xvi + 200 sayfa

Gelişmiş üretim ortamları, geniş bir ürün yelpazesi ve düşük pazara sunma süresi talep eden modern pazar zorluklarını ele almak için ideal bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Benzer ürün ailelerine göre uyarlanmış bağımsız, modüler ve esnek çalışma alanlarından oluşan hücresel sistemler içinde Seru hem üretim hem de montaj görevleri için giderek daha fazla benimsenmektedir. İlk olarak Japonya'da ortaya çıkan Seru üretim sistemi; Sony, Fujitsu ve Canon gibi teknoloji devleri tarafından benimsenerek, yalın ötesi kavramlarla tanımlanmıştır. Japonca'da “hücre” anlamına gelen Seru, özellikle montaj üretimi yapan şirketler için üç modu ile dünya çapında yayılmaktadır. Seru, Japonya'daki büyük şirketler tarafından benimsenmiş olmasına rağmen, uluslararası literatürde henüz tam anlamıyla yaygınlık kazanmamıştır. Seru'nun modları arasında Bölünmüş Seru, Dönen Seru ve Yatai bulunmaktadır.

Seru'nun özü, birden fazla işi yapabilen çoklu beceri eğitilmiş işçiler tarafından, farklı türdeki birçok ürünün organize edilmesidir. Seru üretimi, geleneksel üretim hattının sökölüp yerine esnek, kolay kurulup sökülebilen, düşük maliyetli hatların yerleştirilmesiyle üretimin gerçekleştirildiği yenilikçi bir sistemdir. Bu sistemin uygulandığı üretim ortamlarında toplam tamamlanma süresinin minimizasyonu, işçi verimliliği, maliyet ve işçi atama gibi kritik faktörlerin optimize edilmesi mümkündür.

Bu çalışmada, Seru üretim modelinin Türkiye'de bisiklet üreten bir firmanın üretim sistemine uyarlanması hedeflenmektedir. Araştırmanın temel amacı, geleneksel montaj üretim hattını söküp yerine esnek taşıyıcı hatlar kurarak, Seru üretim modelinin benimsenmesiyle toplam tamamlanma süresini en aza indirmektir. Seru modlarından biri olan Dönen Seru, uygulamanın temelini oluşturmuştur. Üretici bisiklet firması,

çocuk ve yetişkin bisikletler olmak üzere iki farklı geleneksel düz hat üzerinde iki farklı ürün tipinin montajını yapmaktadır. Dolayısıyla, ürün tiplerine ait süreçler yine aynı üretim hattında kalacak şekilde Hat-Seru çizelgelemesi yapılmıştır. Biri çocuk, diğeri ise yetişkin bisiklet montaj üretimi yapılacak şekilde 2 Serulu bir model tasarlanmıştır.

Modellenen Seru üretim hattında toplam tamamlanma süresinin minimizasyonu hedeflenmiştir. Bunun yanı sıra işçilerin becerilerine göre Serulara ve işlemlere yeniden atanmasına da odaklanılmıştır. İşçi atama konusunda öncelikle işçilerin Serulara atamalarının yapılması için çoklu beceriye sahip olup olmadıkları tespit edilmiştir. İşçilerin yetkinlik düzeyleri belirlendikten sonra çalışmanın modeline buna dair bir uygunluk matrisi oluşturulmuştur. Geleneksel model ve sunulan Seru modeli, toplam tamamlanma süresi temelinde kıyaslanmıştır. Ayrıca, optimizasyon probleminde daha önceden belirli Serulara atanacak şekilde tasarlanan işçilerin işlemlerdeki yetkinliklerine göre atanmalarına ve üretim sürecinin yeniden tasarlanmasına odaklanılmıştır.

Optimizasyon modelini uyarlamak için karma tamsayılı bir matematiksel model kurulmuştur. Analizi gerçekleştirmek için Lingo 18.0 yazılımı kullanılmıştır. Geliştirilen Hat-Seru dönüşüm modeli ile gerçekleştirilen optimizasyon çalışması, üretim sisteminin performansında kayda değer iyileştirmeler sağlamıştır. Toplam tamamlanma süresinin minimizasyonu, operatörlerin optimal iş atamaları ve üretim sisteminin yeniden yapılandırılması başarıyla gerçekleştirilmiştir. Geleneksel üretim sistemi ile Seru temelli sistem arasında yapılan karşılaştırmalı analizde, toplam tamamlanma süresinde yaklaşık %32'lik bir iyileşme elde edilmiştir. Bu iyileşme, iş günü bazında değerlendirildiğinde geleneksel sistemdeki 6.5 günlük tamamlanma süresinin Seru sisteminde 4.5 güne düşürülmesiyle somut olarak gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, Seru üretim sisteminin verimliliği artırma potansiyelini açıkça ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: (Üretim Sistemleri, Hücresel Üretim, Seru, Seru Üretim Sistemi, Dönen Seru, Çok Vasıflı İşçiler).

ABSTRACT**TRANSFORMING THE TRADITIONAL ASSEMBLY LINE PRODUCTION
SYSTEM INTO A SERU PRODUCTION SYSTEM AND AN IMPLEMENTATION**

YILDIZ, Çağdaş

Doctorate's Degree, Business Administration

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Adem TÜZEMEN

December 2024, xvi + 200 pages

Advanced manufacturing environments have emerged as an ideal solution to address modern market challenges that demand a wide range of products and reduced time-to-market. Within cellular systems consisting of independent, modular, and flexible workspaces adapted for similar product families, Seru is increasingly being adopted for both production and assembly tasks. The Seru production system, which first emerged in Japan, was adopted by technology giants such as Sony, Fujitsu, and Canon, and has been characterized by beyond-lean concepts. Seru, meaning "cell" in Japanese, is spreading worldwide with its three modes, particularly for companies engaged in assembly production. Although Seru has been adopted by major companies in Japan, it has not yet gained full prominence in international literature. Seru's modes include Divisional Seru, Rotating Seru, and Yatai.

The essence of Seru is the organization of many different types of products by multi-skilled workers capable of performing multiple tasks. Seru production is an innovative system where production is carried out by dismantling the traditional production line and replacing it with flexible, easily assembled and disassembled, low-cost lines. In production environments where this system is implemented, it is possible to optimize critical factors such as minimization of total completion time, worker productivity, cost, and worker assignment.

This study aims to adapt the Seru production model to a bicycle manufacturing company's production system in Turkey. The main objective of the research is to minimize the total completion time by dismantling the traditional assembly production line and establishing flexible carrier lines through the adoption of the Seru production model. Rotating Seru, one of the Seru modes, formed the foundation of the

implementation. The bicycle manufacturer assembles two different product types on two different traditional straight lines: children's and adult bicycles. Consequently, Line-Seru scheduling was performed so that the processes for product types remained on the same production line. A model with 2 Serus was designed, one for children's bicycle assembly and the other for adult bicycle assembly.

The modeled Seru production line aimed to minimize total completion time. Additionally, the focus was on reassigning workers to Serus and operations based on their skills. Regarding worker assignment, it was first determined whether workers possessed multiple skills for assignment to Serus. After determining workers' competency levels, a compatibility matrix was created for the study's model. The traditional model and the proposed Seru model were compared based on total completion time. Furthermore, the optimization problem focused on assigning workers, who were previously designed to be assigned to specific Serus, according to their competencies in operations and redesigning the production process.

A mixed-integer mathematical model was established to adapt the optimization model. Lingo 18.0 software was used to perform the analysis. The optimization study conducted with the developed Line-Seru transformation model achieved significant improvements in the production system's performance. The minimization of total completion time, optimal work assignments of operators, and restructuring of the production system were successfully accomplished. In the comparative analysis between the traditional production system and the Seru-based system, approximately 32% improvement was achieved in total completion time. When evaluated on a workday basis, this improvement was concretely observed through the reduction of completion time from 6.5 days in the traditional system to 4.5 days in the Seru system. The obtained results clearly demonstrate the potential of the Seru production system to increase efficiency.

Keywords: (Production Systems, Cellular Production, Seru, Seru Production System, Rotating Seru, Multi-Skilled Workers).

İÇİNDEKİLER

Bilimsel Etik Sayfası	i
Jüri Kabul ve Onay.....	ii
Teşekkür	iii
Özet	iv
Abstract	vi
İçindekiler	viii
Tablolar Listesi	xi
Şekiller Listesi	xiii
Kısaltmalar	xv
GİRİŞ	1
BÖLÜM 1: ÜRETİM SİSTEMLERİ VE HÜCRESEL ÜRETİM.....	3
1.1.Üretim Sistemlerine Giriş	3
1.2.Üretim ve Üretim Sistemleri Kavramları	4
1.3.Üretim Sistemlerinin Sınıflandırılması	7
1.3.1. Geleneksel Üretim Sistemleri	7
1.3.1.1.Kesikli Üretim Sistemleri	9
1.3.1.1.1. Siparişe Göre Üretim	10
1.3.1.1.2. Parti Tipi Üretim.....	13
1.3.1.2.Sürekli Üretim Sistemleri.....	15
1.3.1.2.1. Kitle Üretim	16
1.3.1.2.2. Akış Tipi Üretim	17
1.3.1.3.Proje Tipi Üretim Sistemi	18
1.3.2. Modern Üretim Sistemleri	19
1.3.2.1.Bilgisayarla Bütünleşik / Bilgisayar Destekli Üretim Sistemleri	21

1.3.2.2.	<i>Esnek Üretim Sistemleri</i>	26
1.3.2.3.	<i>Yalın Üretim Sistemi</i>	29
1.3.3.	Grup Teknolojisi ve Hücrel Üretim Sistemleri	35
1.3.4.	Hücrel Üretim	39
1.3.4.1.	<i>Hücrel Üretim Faydaları</i>	44
1.3.4.2.	<i>Hücrel Üretim Özellikleri</i>	44
1.3.4.3.	<i>Yalın Hücreyi Geleneksel İş Atölyesinden Daha İyi Yapan İlke Anahtarları</i>	44
1.3.4.4.	<i>Hücrel Üretim Düzeni</i>	45
BÖLÜM 2:	SERU ÜRETİM SİSTEMİ	47
2.1.	Seru Üretim Kökeni	47
2.2.	Seru Üretim İlk Ortaya Çıkışı ve Yükselişi	50
2.3.	Seru ile Hücrel Üretim Arasındaki Farklar	55
2.4.	Seru Üretim Avantaj ve Dezavantajları	60
2.5.	Seru'da Ürünlerin ve Süreç Özelliklerinin Analizi	61
2.6.	Süreç Özelliklerinin Analizi	63
2.7.	Seri Üretim Sistemlerinin Tasarımı	63
2.8.	Seru Modları ve Seçimleri	65
2.8.1.	Bölünmüş Seru	66
2.8.2.	Dönen Seru	67
2.8.3.	Yatai	70
2.9.	İşçiler ve Çoklu Beceri Eğitimleri	71
2.10.	Literatür İncelemesi	79
BÖLÜM 3:	UYGULAMA	93
3.1.	Uygulamanın Amacı	95
3.2.	Uygulamanın Önemi	96

3.3. Materyal ve Yöntemin Tanımlanması	96
3.4. Firmanın Tercih Ettiği Geleneksel Üretim Hattının Mevcut Durum Analizi	96
3.5. Geleneksel Üretimden Seru Üretim Sistemine Geçiş Aşaması	97
3.6. Veri Setinin Ana Hatlarının Açıklanması ve Mevcut Geleneksel Üretim Sisteminin Tanımlanması	100
3.6.1. Veri Setinin Ana Hatlarının Açıklanması	100
3.6.2. Mevcut Geleneksel Üretim Sisteminin Tanımlanması	100
3.7. Hat-Seru Temelli Matematiksel Modelin Tanımlanması	108
3.8. Tasarlanan 2 Serulu Model için Toplanan Veri Seti	119
3.9. Tasarlanan 2 Serulu Modelin Analizi ve Elde Edilen Sonuçlar	128
3.10. Gelişmiş Rotasyon Kısıtlarının Etkinlik Analizi.....	143
3.11. Seru Üretim Sisteminde İşçi Sıralaması ve Çalışma Prensipleri Analizi..	145
SONUÇ VE ÖNERİLER	150
KAYNAKLAR	154
EKLER	170
Ek 1: Dönen Seru Modelinin Lingo Çıktısı	170
Ek 2: Geleneksel Montaj Hattı Üretim Modelinin Lingo Çıktısı	190

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo No	Sayfa
Tablo 1.1: Üretim Sistemleri ve Özellikleri.....	3
Tablo 1.2: Sipariş Tipi Üretim Sisteminin Kriterlere Göre Özellikleri	13
Tablo 1.3:Yalın ve Seri Üretim Karşılaştırması	30
Tablo 1.4: Yalın Üretim Yapısında Tam Zamanında Üretim, İşçi Katılımı ve Otonomasyon Unsurları	32
Tablo 1.5: Hücresel Üretimin İşletmelere Olan Avantajları	43
Tablo 2.1: Seru ile Geleneksel Montaj Hattı Arasındaki Temel Farklar	57
Tablo 2.2: Seru ile Hücresel Üretim Sistemleri Arasındaki Temel Farklar	58
Tablo 2.3: Seru ile TÜS Arasındaki Temel Farklar	59
Tablo 2.4: İşçilerin Çoklu Beceri Eğitimi İçin Temel Adımlar	58
Tablo 3.1: Çocuk ve Yetişkin Bisikletlerinin Üretiminde İşlem Tiplerine Ait Parti Büyüklük Miktarları	101
Tablo 3.2: 2 Serulu Model için İndis Değerlerinin Tanımlanması	119
Tablo 3.3: 1. Parametre (D_{γ}): İşlem tiplerine Ait Parti Büyüklük Miktarları (Adet/Parti)	120
Tablo 3.4: Parametre 2 (H_{γ}^{β}): İşlem Tiplerinin Hatlardaki Hazırlık Süreleri (Sn.).....	122
Tablo 3.5: Geleneksel ve Seru Üretim Sistemlerinin Hazırlık Süresi Bazında Kıyaslanması	123
Tablo 3.6: Parametre 3 (R_{β}): Maksimum İşçi Sayısı.....	124
Tablo 3.7: 2 Serulu Model için Parametre 4 ($V_{\gamma}^{\alpha\beta}$): Birim Parti İşlem Süreleri (Sn/Parti)	125
Tablo 3.8: İşçilerin Yetkinlik Matrisi (K_{γ}^{α}):	125
Tablo 3.9: İşlem Sırası İlişkileri Matrisi (P).....	126
Tablo 3.10: Belirli İşlerin Belirli Serulara Atanması ($B_{\gamma\beta}$) Değişkeni	126
Tablo 3.11: Hangi İşçinin Hangi Seruya Atandığının Gösterimi	132
Tablo 3.12: Serulardaki İşlerin Tamamlanma Süreleri.....	133
Tablo 3.13: ($B_{\gamma\beta}$) Karar Değişkeni Sonuç Gösterimi	135
Tablo 3.14: (C_{γ}^{β}) Karar Değişkeni Sonuç Gösterimi	136

Tablo 3.15: ($M_y^{\alpha\beta}$) Karar Değişkeni Sonuç Gösterimi	138
Tablo 3.16: ($O_y^{\alpha\beta}$) Değişkeninin Sonuç Gösterimi.....	140
Tablo 3.17: Seru 1 (Çocuk Bisikleti) İşçi-İşlem Bazlı Parti Büyüklük Miktar Dağılımı	143
Tablo 3.18: Seru 2 (Yetişkin Bisikleti) İşçi-İşlem Bazlı Parti Büyüklük Miktar Dağılımı	143
Tablo 3.19: İşçilerin Seru Bazında İşledikleri Toplam Parti Büyüklük Miktarları	143
Tablo 3.20: İşlem Bazlı Maksimum Parti Miktarı Kontrolü	144



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil No.....	Sayfa
Şekil 1.1: Örnek Bir Üretim Sistemleri Süreci	6
Şekil 1.2: CAD / CAM ve CIM Kapsamı ve Bir CIM Sisteminin Bilgisayarla İşlenmiş Öğeleri	23
Şekil 1.3: Bir CNC İşleme Merkezi ve Parça Saklama Biriminden Oluşan Tek Makine Hücresi	27
Şekil 1.4: Üç Özdeş İşleme İstasyonundan (CNC İşleme Merkezleri), Bir Yükleme / Boşaltma İstasyonundan ve Bir Parça İşleme Sisteminden Oluşan Esnek Bir Üretim Hücresi	28
Şekil 1.5: Yalın Bir Üretim Sisteminin Yapısı	32
Şekil 1.6: Akış Tipi Tesis Yerleşimi	37
Şekil 1.7: Grup Teknolojisi Düzeni	38
Şekil 1.8: Makineler Arasında Elle Kullanılan Makine Hücresi	39
Şekil 1.9: Yarı Entegre İşleme Sahip Makine Hücreleri	40
Şekil 1.10: Üretim Hücresi	42
Şekil 2.1: Sony'nin 1992 Yılında Piyasaya Sürdüğü CCD-TR55 Video Kamerası	49
Şekil 2.2: Uzun Bir Çizgi Kısaltarak Ayırma (OP= operatör, Ü= Ürün)	49
Şekil 2.3: Geleneksel Düz Hatların Serulara Evrilmesi	50
Şekil 2.4: Seru Üretim ve Hücresel Üretim Arasındaki Fark	56
Şekil 2.5: Seru Üretimi için Genel Uygulama Çerçevesi	62
Şekil 2.6: Örnek Bir Bölünmüş Seru Formu	66
Şekil 2.7: Örnek Bir Dönen Seru	68
Şekil 2.8: Örnek Bir Yatai Seru	71
Şekil 3.1: Uygulama Süreci Akış Diyagramı	99
Şekil 3.2: Çocuk ve Yetişkin Bisikletlerinin Üretim Hatları	102
Şekil 3.3: Çocuk Bisikleti Montajına Dair Üretim İşlemlerinin Akış Diyagramı	105
Şekil 3.4: Yetişkin Bisikleti Montajına Dair Üretim İşlemlerinin Akış Diyagramı	108
Şekil 3.5: Geleneksel Üretim Hattının Seru Üretim Sistemine Evrilmesi.....	128
Şekil 3.6: Geleneksel Üretim Hattı ile 2 Serulu Model Arasındaki Toplam Tamamlanma Süre Kıyaslaması	131

Şekil 3.7: İşçilerin Serulara Atanmasının Gösterimi	132
Şekil 3.8: Serulardaki İşlerin Tamamlanma Sürelerinin Gösterimi.....	134
Şekil 3.9: $(B_{\gamma\beta})$ Karar Değişkeni Sonuç Gösterimi	135
Şekil 3.10: (C_{γ}^{β}) Karar Değişkeni Sonuç Gösterimi.....	137
Şekil 3.11: $(M_{\gamma}^{\alpha\beta})$ Karar Değişkeninin 1. 2. Seru için Sonuç Gösterimi.....	139
Şekil 3.12: $(O_{\gamma}^{\alpha\beta})$ Karar Değişkeninin 1. Seru için Sonuç Gösterimi	141
Şekil 3.13: $(O_{\gamma}^{\alpha\beta})$ Karar Değişkeninin 1. Seru için Grafik Gösterimi.....	141
Şekil 3.14: $(O_{\gamma}^{\alpha\beta})$ Karar Değişkeninin 2. Seru için Sonuç Gösterimi	142
Şekil 3.15: $(O_{\gamma}^{\alpha\beta})$ Karar Değişkeninin 2. Seru için Grafik Gösterimi	142
Şekil 3.16: Seru 1 ve 2'deki İşçilerin Karakteristikleri ve Başlangıç Üretim Sıralaması	147

KISALTMALAR

CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer-Aided Design)
CAI	Bilgisayar Destekli Denetim (Computer-Aided Inspection)
CAM	Bilgisayar Destekli Üretim (Computer-Aided Manufacturing)
CAPP	Bilgisayar Destekli Süreç Planlama (Computer-Aided Process Planning)
CAQC	Bilgisayar Destekli Kalite Kontrol (Computer-Aided Quality Control)
CAT	Bilgisayar Destekli Test (Computer-Aided Test)
CCD	Yük Bağlantılı Aygıt (Charge-Coupled Device)
CEO	İcra Kurulu Başkanı (Chief Executive Officer)
CIM	Bilgisayarla Bütünleşik Üretim (Computer Integrated Manufacturing)
CNC	Bilgisayarlı Sayısal Kontrol (Computer Numerical Control)
DP	Doğrusal Programlama
ERP	Kurumsal Kaynak Planlaması (Enterprise Resource Planning)
EÜS	Esnek Üretim Sistemi
GA	Genetik Algoritma
GT	Grup Teknolojisi (Group Technology)
HÜ	Hücre Üretim
HÜS	Hücresel Üretim Sistemi
IE	Endüstri Mühendisliği (Industrial Engineering)
IFR	Uluslararası Finansal Raporlama (International Financial Reporting)
II	Endüstri 4.0 (Industrial Internet)
JIT	Tam Zamanında Üretim (Just in Time)
KAIZEN	Sürekli İyileştirme

KTDP	Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama
MIT	Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (Massachusetts Institute of Technology)
MPS	Ana Üretim Çizelgesi (Master Production Schedule)
MRP	Malzeme İhtiyaç Planlaması (Material Requirements Planning)
MTO	Make-to-Order
MTS	Make-to-Stock
MÜS	Malzeme Üretim Sistemi
NC	Sayısal Kontrol (Numerical Control)
NEC	Yeni Ekonomi İşletmesi (New Economy Company)
NSGA	Nadir Kullanılan Genetik Algoritma (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm)
OP	Operasyon
PPC	Üretim Planlama ve Kontrol (Production Planning and Control)
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization)
SA	Simüle Tavlama (Simulated Annealing)
SERU	Seru Üretim Sistemi
SMED	Tek Dakikalık Kalıp Değiştirme (Single-Minute Exchange of Dies)
TPS	Toyota Üretim Sistemi (Toyota Production System)
TÜS	Tam Üretim Sistemi
UNECE	Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu (United Nations Economic Commission for Europe)
WIP	Süreçteki İş (Work in Progress)

GİRİŞ

Günümüz modern işletmeleri, müşterilerin siparişlerinden çok kısa bir süre sonra teslim edilmeye hazır, son derece özelleştirilmiş ürün çeşitleri talep eden modern pazarın isteklerini karşılamada proaktif olmayı amaçlamaktadır. Bu hedef doğrultusunda, modern ve gelişmiş üretim ortamları, geleneksel konfigürasyonlardan “Yeni Nesil Üretim Sistemleri” olarak da adlandırılan hibrit, dinamik ve yeniden yapılandırılabilir akıllı üretim sistemlerine doğru evirilmektedir. Bu sistemlerin temel amacı, dinamik talep, kısa yaşam döngüsü, sık ürün yeniden tasarımı, yüksek çeşitlilik, düşük ve değişken üretim hacimleri varlığında verimli çalışmaktır. Mevcut gelişmiş üretim ortamları arasında, Hücresel üretim sistemleri, endüstrideki geniş uygulama alanı ve çeşitli bağlamlarda kanıtlanmış potansiyeli nedeniyle dikkat çekmektedir.

90'lı yılların başında, Japon endüstriyel bağlamında geleneksel Hücresel üretim sistemlerinin bir evrimi ortaya çıkmış ve bu evrim Japonca'da Seru, “hücre” veya daha literatür temelli tanımlanmasıyla Seru Seisan “üretim hücresi” olarak adlandırılmıştır. Canon, Sony ve Fujitsu gibi elektronik sektörünün önde gelen şirketleri, Seru üretim ortamının benimsenmesine öncülük eden örneklerdir. Seru sistemi, “tek bir işçinin veya küçük bir üretim işçisi ekibinin kısa taşıyıcı hatlarında birden fazla üretim işini (çoklu görev) gerçekleştirdiği” bir üretim sistemidir.

Seru üretim sistemi, Japonya dışında henüz yeni bir sistem olduğundan, Türkiye'deki akademik değerlendirmesi oldukça sınırlıdır. Bu tez çalışmasında, Seru üretim sistemi geleneksel montaj hattı üzerinde üretim yapan bir firmada denenmiştir. Çalışmanın amacı, geleneksel montaj hattının sökülüp yerine Hat-Seru üretim sisteminin entegre edilmesiyle toplam tamamlanma süresini minimize etmektir. Uygulamanın temelini, Hat-Seru üretim sisteminin en esnek modlarından biri olan Dönen Seru oluşturmuştur. Ayrıca bu çalışmanın diğer bir amacı, Seru üretim Sistemi modelinin Türkiye'de bir montaj üretim tesisinde uyarlanabileceğini göstermektir.

Uygulamanın gerçekleştirilmesi için gerekli veri seti, Türkiye'de faaliyet gösteren ve geleneksel montaj hattı üretim sistemine sahip bir bisiklet firmasından elde edilmiştir. Uygulama bölümünde sunulan Dönen Seru dönüşümünün matematiksel modellemesi, elde edilen veri setine uygun şekilde yeniden tasarlanmıştır.

Üretici firma, paralel yapılandırılmış iki üretim hatlarında çocuk ve yetişkin bisikletleri olmak üzere iki ana ürün tipinin montajını gerçekleştirmektedir. Hat-Seru

çizelgelemesi, her ürün tipine ait süreçlerin kendi ürün tipleri içerisinde kalacak şekilde tasarlanmış ve üretim sürekliliğini sağlayan bir yaklaşım benimsenmiştir. Biri çocuk, diğeri ise yetişkin bisiklet montaj üretimi yapılacak şekilde 2 Serulu bir model tasarlanmıştır. Modellenen Seru üretim Sisteminde toplam tamamlanma süresinin minimizasyonu hedeflenmiştir. Bunun yanı sıra işçilerin becerilerine göre Serulara ve işlere yeniden atanmasına da odaklanılmıştır. İşçi atama konusunda öncelikle işçilerin Serulara atamalarının yapılması için çoklu beceriye sahip olup olmadıkları tespit edilmiştir. İşçilerin hangi işlemleri yapıp yapamayacakları belirlendikten sonra çalışmanın modeline buna dair bir yetkinlik matrisi eklenmiştir. Geleneksel ve Seru Üretim modeli, toplam tamamlanma süresi temelinde kıyaslanmıştır. Ayrıca, optimizasyon probleminde işçilerin işlerdeki yeteneklerine göre işlere ve Serulara yeniden atanmalarına, işçilerin atandıkları Serularda uzman oldukları işlemlerde rotasyon yapmalarına ve üretim sürecinin yeniden tasarlanmasına odaklanılmıştır. Optimizasyon modelini uyarlamak için karma tamsayılı bir matematiksel model kurulmuştur. Analizi gerçekleştirmek için Lingo 18.0 yazılımı kullanılmıştır. Yapılan analiz sonucunda, toplam tamamlanma süresinin minimizasyonu, işçilerin işlemlere ve Serulara yeniden atanması ve üretim sisteminin yeniden dizayn edilmesi sağlanmıştır.

Çalışmanın giriş bölümünden sonra, birinci bölümde üretim sistemleri ve Hücresel Üretim Sistemi tanımlanmıştır. İkinci bölümde, Seru Üretim Sistemi detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Üçüncü bölümde, uygulamaya yer verilmiş ve Dönen Seru Üretimi temelli analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Dördüncü ve son bölümde ise sonuç ve öneriler kısmı bulunmaktadır. Kaynaklar bölümünün ardından, ek sayfa bölümünde analiz için tasarlanan modelin Lingo sonuç çıktısına yer verilmiştir.

BÖLÜM 1: ÜRETİM SİSTEMLERİ VE HÜCRESEL ÜRETİM

“Üretim”, insanlığın başlangıcından itibaren temel ihtiyaçlarının karşılanmasında her toplumun temel faaliyetlerinden biri olmuştur. Üretimin yönetilebilir hale getirilmesi, iki yüzyılı aşkın süredir bir ülkenin ekonomik büyümesinde önemli bir faktör olarak kabul edilmektedir. Dünya nüfusundaki artış, taleplerdeki değişim ve kıt kaynakların değerinin anlaşılması, üretim sistemlerinin ortaya çıkmasında büyük rol oynamıştır.

1.1. Üretim Sistemlerine Giriş

Üretim yönetimine geleneksel bakış açısı, 18. yüzyılda Adam Smith'in emeğin uzmanlaşmasının ekonomik faydalarını fark etmesiyle başlamıştır. Smith, işin alt görevlere bölünmesini ve işçilerin, yüksek beceri ve verimliliğe sahip olacakları belirli görevlere atanmasını önermiştir. 20. yüzyılın başlarında F.W. Taylor, Smith'in teorilerini uygulayarak bilimsel yönetimi geliştirmiştir. Bu dönemden 1930'a kadar, geleneksel görüşe hâkim birçok sistem geliştirilmiştir (Heizer ve Render, 2017: 10). Yıllar içinde üretim yönetimine yapılan katkılar Tablo 1.1'de gösterilmiştir.

Tablo 1.1. Üretim Yönetiminin Tarihsel Özeti

Tarih	Katkı	Katkı Sağlayan(lar)
1776	İşgücünde uzmanlaşma	A. Smith
1799	Standart parçalar	Eli Whitney vd.
1832	İşgücünün beceriye göre bölünmesi; işlerin beceriye göre atanması; Zaman etüdünün temelleri	Frederick W. Taylor
1900	İşgücünde uzmanlaşma	Charles Babbage
1900	İş ve zaman etüdü	Frank B. Gilbreth
1901	Gantt Şeması	Henry L. Gantt
1915	Ekonomik Sipariş Miktarı	F. W. Harris
1927	İnsan ilişkileri: Hawthorne çalışmaları	Elton Mayo
1931	İstatistiki örnekleme	W. A. Shewhart
1935	Kalite Kontrol muayene örnekleme planlarına uygulanan istatistiksel örnekleme	H. F. Dodge ve H. G. Romig
1940	II. Dünya Savaşı'nda yöneylem araştırması uygulamaları	P. M. Blackett vd.
1946	Dijital Hesaplama	John Mauchly ve J. P. Eckert
1947	Doğrusal Programlama	G. B. Dantzig vd.
1950	Matematiksel programlama: doğrusal ve stokastik süreçler	A. Charnes, W. W. Cooper vd.

1951	Ticari dijital bilgisayarlar ile büyük ölçekli hesaplamalar	Sperry Univac
Tablo 1.1. (Devamı) Üretim Yönetiminin Tarihsel Özeti		
1960	Örgütsel davranış: iş yerindeki insanlar üzerinde devam eden çalışmalar	L. Cummings ve L. Porter
1970	Operasyonların genel strateji ve politikaya entegre edilmesi, İmalat için Bilgisayar Uygulamaları, Çizelgeleme ve Kontrol, Malzeme İhtiyaç Planlaması (MRP)	W. Skinner, J. Orlickey ve G. Wright
1980	Japonya'dan kalite ve verimlilik uygulamaları, robotik, CAD-CAM	W. E. Deming ve J. Juran

Kaynak:(Heizer ve Render, 2017: 10).

Üretim yönetimi, 1930'lardan 1950'lere kadar kabul edilebilir bir terim haline gelmiştir. F.W. Taylor'ın çalışmaları daha yaygın bir şekilde tanınmaya başladıkça, yöneticiler üretimde ekonomik verimliliğe odaklanan teknikler geliştirmiştir. Boşa harcanan çabayı ortadan kaldırmak ve daha fazla verimlilik elde etmek için işçiler ayrıntılı olarak incelenmiştir. Aynı zamanda, psikologlar ve sosyal bilimciler, insanları ve çalışma ortamındaki insan davranışlarını incelemeye başlamışlardır. Ekonomistler, matematikçiler ve bilgisayar uzmanları da daha yeni ve karmaşık analitik yaklaşımlara katkıda bulunmuşlardır. 1970'lerden itibaren bilgisayar sistemlerinin gelişmesiyle birlikte, işletmeler daha teknolojik bir sisteme geçiş yapmıştır. Bu dönemde, malzemelerin kontrolü ve takibi için Malzeme İhtiyaç Planlaması ve Kurumsal Kaynak Planlaması sistemleri geliştirilmiştir. Daha sonraki dönemde ise, günümüzde hala büyük şirketler tarafından kullanılan modern üretim sistemleri ortaya çıkmıştır. Özellikle teknolojinin ve internetin daha da gelişmesiyle birlikte, Bilgisayar Destekli Üretim ve Bilgisayar Destekli Tasarım bu dönemin en son yenilikleri olmuştur.

1.2. Üretim ve Üretim Sistemleri Kavramları

Üretimin kökenleri tarih boyunca çeşitli kavramsal evrimlerden geçmiştir. Üretim, en temel anlamıyla, kaynakların insan kullanımına ve tüketimine uygun ürünlere dönüştürülmesinin organize edilmesi sürecini ifade eder. Bu süreç, işletmeler tarafından insanların maddi ve manevi ihtiyaçlarını karşılamak üzere yürütülen talep odaklı faaliyetlerin bir sonucudur. Mühendisler ve ekonomistler üretimi farklı perspektiflerden inceleseler de temel bir noktada birleşirler: dönüşüm yoluyla değer yaratmak. Üretim sistemlerinin yapısı üç temel unsurdan (girdiler, dönüşüm süreci ve

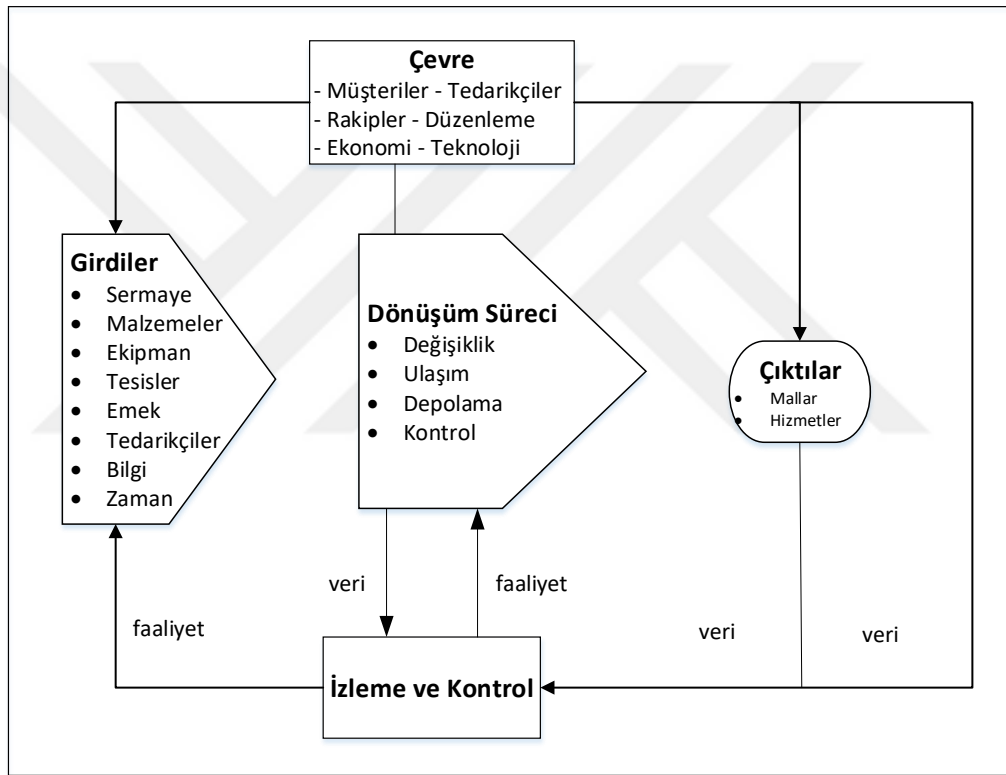
çıktılar) oluşmaktadır. Bu sistemler salt üretimden daha fazlasını kapsar, endüstriyel üretkenlik ve dağıtım faaliyetlerini bütünleştirir. Hammaddeler sistem boyunca akar, hem ekipman hem de bilgi içerir ve nihai olarak bitmiş ürünler şeklinde sonuçlanır. Bu sistemler içerisindeki sınırlar, çıktıdan ürün kalitesine kadar her şeyi belirleyici niteliktedir.

Modern üretim sistemleri, fiziksel ürünlerin ve maddi olmayan hizmetlerin birbirleriyle etkileşim içinde olduğu ekolojilerdir. Bu tür bir etkileşim, pazar ihtiyaçları değiştiğinde geleneksel üretim süreçlerinin yerini hizmet sunumuna bıraktığı bir ortam yaratır. Bu tür sistemlerde başarılı olmak için hem malzeme hem de bilgi akışını iyi yönetmek gerekir. Üretimin belki de en önemli yönü dönüşümdür. Dönüşüm sadece fiziksel olarak bir şeyleri değiştirmekle kalmaz, aynı zamanda gerçek değer yaratmak için organizasyon, zamanlama ve hassasiyeti de zorunlu hale getirir. Dönüşüm süreci, verimlilik ve kalite standartlarını korurken her adımda müşteri gereksinimlerinin karşılanmasını gerektirir.

Üretim sistemlerinde kaynak yönetimi dengeli olmalıdır. Girdiler, sadece hammadde olarak fiziksel anlamda değil, aynı zamanda insan becerileri; makine kabiliyeti ve bilgeliği ve bilgi akışı açısından da koordine edilmelidir. Bu koordinasyon, ürün kalitesini korurken sistemin üretim kapasitesini gerçekleştirir. Kalite kontrolü, sistemin sınırları ve yetenekleri dahilinde gerçekleşir. Bu sınırlamaların hepsi kısıtlama değildir. Ürün kalitesinde ve hizmet sağlamada tek tip standartları korumak için ilkeler olarak işlev görürler. Bu sınırlar dahilinde çalışmayı anlamak ve aynı zamanda iyileştirme için çabalamak üretim yönetiminin önemli bir yönüdür. Günümüz üretim sistemlerinin müşteri odaklı yapısı, sadece arz odaklı üretimden talep odaklı üretime geçişi işaret etmektedir. Bu değişim, değişen pazar ihtiyaçlarına ve tüketici işlerine uyum sağlamak için üretim sistemlerinde esnekliği ve yanıt verebilirliği vurgulamaktadır.

Önümüzdeki on yıllar boyunca, üretim sistemleri giderek daha fazla dijital teknoloji ve bilgi sistemini entegre etmeye devam edecektir. Bu kullanım hem verimliliği hem de esnekliği artırarak üretim sistemlerinin pazar ihtiyaçlarını daha iyi karşılamasını, aynı zamanda da kaliteli ve düşük maliyetli olmasını sağlamaktadır. Üretimin geleceği, modern teknolojik (know-how) ile klasik üretim kabiliyetinin bu karışımında yatmaktadır.

Üretim sistemleri, girdileri (işgücü, sermaye, ekipman, arazi, bina, malzeme ve bilgi) müşterilere katma değer sağlayan çıktılara (mal ve hizmetler) dönüştürür. Tüm bu süreç Şekil 1'de gösterilmektedir. Dönüşüm Sistemi, kuruluşun müşteri ihtiyaçlarını karşılayan mal ve hizmetleri ne kadar iyi ürettiğini belirleyecek olan modeldeki kritik unsurdur. Kuruluşun kâr amacı gütmeyen bir şirket, organizasyon (dini kuruluşlar, hastaneler vb.) veya bir devlet kurumu olması fark etmez; tüm kuruluşlar müşteri ihtiyaçlarını karşılamak için dönüşüm süreçlerinin kalitesini en üst düzeye çıkarmak için çaba göstermelidir. Örnek bir üretim sistemi süreci Şekil 1.1'deki gibi gösterilebilir.



Şekil 1.1. Örnek Bir Üretim Sistemleri Süreci

Kaynak: (Dillon, 2019).

Şekil 1.1, bir üretim sistemini bütünsel bir perspektifle ele almaktadır. Girdi, dönüşüm süreci ve çıktı arasında kurulan bağlantılar, bir organizasyonun etkin bir şekilde çalışmasını sağlayan temel bileşenleri tanımlamaktadır. Girdiler, üretim sürecinin başlangıç noktasını oluştururken, dönüşüm süreci bu girdileri değerli ürünlere veya hizmetlere dönüştürür. Çıktılar ise bu sürecin nihai ürünleridir. Sistemin başarısını artırmak için “İzleme ve Kontrol” aşaması, süreç boyunca performans değerlendirmesi yaparak iyileştirme fırsatlarını ortaya koyar. Bu yapı, çevresel faktörlerin etkisini de

vurgular; müşteri beklentileri, teknolojik gelişmeler ve ekonomik koşullar, üretim sisteminin dinamik yapısını şekillendirir. Bu modeli doğru bir şekilde uygulamak, işletmelerin sürdürülebilirlik ve rekabet avantajı elde etmesinde kritik bir rol oynar.

1.3. Üretim Sistemlerinin Sınıflandırılması

Üretim sistemleri genel olarak iki ana başlık altında açıklanmaktadır: geleneksel ve modern üretim sistemleri. İlk olarak, geleneksel üretim sistemleri açıklanmış, ardından Seru üretim sistemini de içeren modern üretim sistemleri tanımlanmıştır.

1.3.1. Geleneksel Üretim Sistemleri

Zanaatkarlık ve manuel süreçlere dayanan üretim yaklaşımı, geleneksel üretim sistemlerini temsil etmektedir. Geleneksel üretimin özü, yetkinlik ve el işçiliğine verdiği önemdedir. Otomatik üretim hatları yerine, bu süreçler yıllar içinde uzmanlık kazanmış nitelikli zanaatkarlar gerektirmektedir (Deb, vd., 2016). Ürünler manuel olarak veya basit mekanik yardımcılarla üretilmektedir, bu sebeple bireysel farklılıkları genellikle belirgin niteliktedir. Geleneksel üretimde, günümüz bağlamında kullanılabilecek binlerce yıllık bilgi birikimi ve deneyimleri temsil eden klasik bir ürün grubu mevcuttur. Küçük ölçekli işletmeler bu alanda öne çıkmaktadır; bireysel atölyeler genellikle kendi yerel topluluklarının ihtiyaçlarını karşılayan veya kültürel özellikleri yansıtan ürünlerde uzmanlaşmıştır.

Yerellik odaklı bu yaklaşım, üreticilerin müşterilerle doğrudan iletişim kurmasını ve toplulukların değişen ihtiyaçlarına hızlı yanıt vermesini sağlamıştır. Sermaye ekipmanı, geleneksel imalatın temelini oluşturan el işçiliği için yalnızca temel destek sağlamaktadır. Temel makineler üretime yardımcı olmak amacıyla kullanılabilmekte, ancak nitelikli işgücünün yerini alamamaktadır. Üretim hacmini sınırlandıran ve kalite kontrolünü artıran bu yaklaşım, genellikle usta zanaatkarların her bir çalışanı denetlemesiyle sonuçlanmaktadır (Bajjou vd., 2017). Uzmanlık kritik bir role sahiptir. Örneğin, malzemelerin, tasarım ilkelerinin ve tekniklerin optimum kullanımını bilen bir zanaatkar geleneksel üretime aittir. Genellikle kuşaklar boyunca aktarılan bu bilgi birikimi, seri üretimin taklit edemeyeceği şekilde her bir parçanın özgün olmasını sağlamaktadır.

Geleneksel becerilere yeni başlayanların eğitimi genellikle bir çıraklık sistemi dahilinde gerçekleşmekte ve belirli bilgi türlerinin sürdürülebilirliğini sağlamaktadır.

Geleneksel imalatıta üretim esnekliği kendine özgü özellikler göstermektedir. Bu sistemler çok çeşitli ürünler sunamasalar da uzmanlık alanları dahilinde birçok çeşit üretebilmekte ve bunu verimli bir şekilde gerçekleştirebilmektedir (Koca ve Aksungur, 2016). Tasarım uzmanları doğal olarak zanaatkarlarla yakın iş birliği içinde çalışmakta, tasarımları gerekli gördükleri ölçüde revize etmekte ve nihayetinde özgün konsepti farklılaştırmaktadır. Üretim biçimi bir yandan sadece kavramsal açıdan değil, nitelik açısından da belirli sınırlara sahiptir; ancak hem kolektif uzmanlık hem de mevcut kaynaklar çerçevesinde kalan kararlar için esneklik mevcuttur.

Geleneksel imalatın iş modeli genellikle nicelikten ziyade niteliği ön plana çıkarmaktadır. Bu da küçük parti büyüklükleri ve detaylara gösterilen özen sayesinde kendi niş pazarlarında yüksek katma değerli ürünler üretilmesini sağlamaktadır. Bu yaklaşım özellikle mobilya imalatı, özel gıda üretimi veya terzilik gibi zanaatkarlığın ve özgünlüğün önem taşıdığı sektörlerde tercih edilmektedir (Koussourisvd., 2010). Geleneksel imalatın bir diğer özelliği de içinde bulunduğu toplumsal yapı ve sosyal gruplarla güçlü entegrasyonudur. Bu şekilde, yerel ekonomik ekosistemlerin önemli bir bileşeni haline gelmekte; bölgeye özgü gelenekleri ve gereksinimleri yansıtan özel ürünler ve hizmetler sunmaktadır. Toplum içindeki bu güçlü bağlar, ürünlerine yönelik talebin sürdürülebilir olmasını sağlamakta ve uzun vadeli kurumsal başarıyı desteklemektedir.

Modern üretim yöntemlerinin yaygınlığına rağmen, geleneksel üretim yöntemleri günümüzde hala varlığını sürdürmektedir. Özellikle zengin ülkelerde el yapımı ürünlere ve özgün üretim süreçlerine duyulan takdirin artması, bu yöntemlere olan ilgiyi yeniden canlandırmıştır (Kunath ve Winkler, 2018). Aynı zamanda, gelişmekte olan ülkelerdeki yoksul üreticiler, geleneksel bilgi ve becerilerini koruyarak uluslararası patentler elde etme fırsatıyla yaşam boyu gelir sağlama potansiyeline sahiptir. Bu durum, özellikle lüks mallar veya menşesine bağlı olarak yüksek değer kazanan özel ürünler üretenler için önemli fırsatlar sunmaktadır(Jones, 2003).

Geleneksel üretim sistemleri, günümüzde hâlâ belirli endüstrilerde ve kültürel bağlamlarda varlığını sürdürebilir. Ancak, teknolojik gelişmeler ve endüstri devrimleri ile birlikte otomasyon ve modern üretim yöntemleri genellikle daha büyük ölçekli ve verimli üretimi mümkün kılmıştır. Geleneksel üretim sistemleri şu şekilde sıralanabilir (Grodach vd., 2017; Negri vd., 2017):

1. Kesikli Üretim Sistemleri,
2. Sürekli Üretim Sistemleri,
3. Proje Tipi Üretim Sistemleri.

1.3.1.1.Kesikli Üretim Sistemleri

Kesikli üretim sistemleri, özel, tipik olarak özel tasarlanmış ürün veya ürünlerin oluşturulduğu bir üretim yöntemini ifade etmektedir. Sürekli akış sistemlerinden farklı olarak, Kesikli üretim sistemindeki her bir üretim çalışması, belirli bir ürün için çağrı yapıldığında başlar. Dolayısıyla her bir çalışma diğerinden farklıdır. Yaklaşımındaki bu temel farklılık, kaynakların ve insan gücünün tahsisinden kontrol sistemlerinin kalite gereksinimlerine kadar her şeyi etkilemektedir (Helu vd., 2020).

Üretim rutinleri, ürün tasarımlarındaki ve müşteri gereksinimlerindeki değişimlere uyum sağlamak için güncellenir, ancak köklü geleneklere bağlılıklarını korur. Bu sistemin esnekliği, yalnızca ürünlerin özelleştirilmesiyle sınırlı kalmamakta aynı zamanda tüm üretim prosedürünü kapsamaktadır. Bu sayede, bir iş türünden veya projeden diğerine hızlı ve kolay bir geçiş yapmak mümkün hale gelir. Ancak, bu geçişler sofistike planlama ve kaynak kontrolü gerektirir, bu da büyük ölçüde zaman ve kaynak yatırımı anlamına gelir (Papadopoulos vd., 2009). Kesikli üretim, bu yönleriyle yalnızca bir üretim süreci değildir, aynı zamanda çeşitli ve zorlu görevlerin üstesinden gelebilen bir sistemdir.

Proje geliştirme ve mühendislik, kesikli üretim için kritik alanlardır. Mühendisler ve tasarımcılar, müşteri gereksinimlerini karşılayacak çözümler üretirken aynı zamanda üretilebilirliği sağlamak için üretim ekipleriyle iş birliği yapar. Bu entegre yaklaşım, üreticilerin, standart üretim sistemlerinde mümkün olmayan karmaşık ve özelleştirilmiş projeleri üstlenmelerine olanak tanır (Liu vd., 2021). Böyle bir sistem hem özel ekipmanlara hem de yüksek düzeyde profesyonel becerilere sahip çalışanlara ihtiyaç duyar. Bu gereklilik, operasyonel maliyetlerin daha yüksek ve üretim sürelerinin daha uzun olmasına yol açsa da yüksek kaliteli ve kişiye özel ürünlerin üretilmesini mümkün kılar.

Kesikli üretim planlaması ve çizelgelemesi, sürekli üretim sistemlerinden önemli ölçüde farklıdır. Her iş, yalnızca üretim gereksinimlerini değil, aynı zamanda mühendislik ihtiyaçlarını, malzeme tedarikini ve iş gücü yeteneklerini göz önünde

bulunduran ayrıntılı bir planlama süreci gerektirir. Bu kapsamlı strateji, özelleştirilmiş ürünler üretiminin doğasında bulunan karmaşıklıkları yönetmek için hayati bir rol oynar ve üretim süreçlerinin başarılı bir şekilde uygulanmasını sağlar (Mylnikov, 2022).

Kesikli üretimde kalite kontrolü, seri üretimdekinden farklıdır. Seri üretimde kullanılan istatistiksel süreç kontrolü yerine tek tek ürünlere odaklanır; her bir ürün süreç boyunca ayrıntılı olarak kontrol edilir ve belirli gerekliliklere uymasını sağlamak için sık sık denetlenir. Bu uzun bir zaman alsa da detaylara gösterilen bu ince dikkat, özel yapım ürünlerde yüksek kalite standartlarının korunmasına yardımcı olmaktadır.

Teknoloji entegrasyonu, modern kesikli üretimde önemli bir rol oynamaktadır. Gelişmiş CAD/CAM sistemleri, otomasyon araçları ve proje yönetimi yazılımları, karmaşık üretim süreçlerini daha etkili bir şekilde koordine etmeye ve özelleştirilmiş projelerde kalite ve tutarlılığı sağlamaya olanak tanır. Bu teknolojik çözümler, özelleştirme taleplerini operasyonel verimlilikle dengelemeye yardımcı olur ve kesikli üretim süreçlerini daha esnek hale getirir. Ancak, bu sistemlerin etkin bir şekilde uygulanması genellikle yüksek vasıflı iş gücüne olan ihtiyacı beraberinde getirmektedir (Kim ve Kim, 2002).

Kesikli üretim ortamında çalışanların, geniş teknik bilgi birikimine sahip olmaları ve problem çözme konusunda yetenekli olmaları gerekir. Bu gereksinimler, üretim maliyetlerinin artmasına yol açsa da yüksek kaliteli ve kişiye özel ürünlerin üretilmesini mümkün kılar. Özellikle niş pazarlarda, standart seri üretimle karşılanamayan müşteri ihtiyaçlarını karşılayan bu esneklik, üreticilere önemli bir rekabet avantajı sağlar. Kesikli üretimin sağladığı kişiselleştirme ve kalite odaklı yaklaşım, zorluklarına rağmen, yüksek kaliteli ve özel ürünler talep eden pazarlara hizmet eden firmalar için vazgeçilmez bir sistem haline gelmiştir. Bu nedenle hem teknolojinin etkin kullanımı hem de nitelikli iş gücüne yapılan yatırım, kesikli üretimin başarısında kritik bir rol oynar.

Kesikli üretim sistemleri, genellikle otomotiv, havacılık, savunma sanayii gibi sektörlerde bulunur ve özel tasarım ve mühendislik gerektiren ürünlerin üretiminde tercih edilir. Kesikli üretim sistemleri iki farklı grupta değerlendirilmektedir. Bunlar; Sipariş tipi üretim sistemi ve Parti tipi üretim sistemlerdir ve şu şekilde açıklanabilir (Helu vd., 2020; Mellor vd., 2014):

1.3.1.1.1. Sipariş Tipi Üretim

Sipariş tipi üretim, standartlaştırılmış ürünlerin seri üretimi yerine, ürünlerin müşterilerin özel ihtiyaçlarına göre yapılması anlamına gelir. Bu sistem, belirli kişi veya grupların gereksinim ve taleplerine göre belirlenen ürünlerin üretilmesini içerir. Envanterin parti büyüklük miktarlarına ayak uydurduğu ve talebin bazen çok öngörülemez olduğu bir seri üretim sisteminden farklıdır. Standartlaştırma ve hacimden ziyade özelleştirme ve esneklik üzerinde durulur. Bu sistemin kökleri, üretimi tamamen benzersiz müşterilerin kar-zarar tercihlerine göre düzenleyebilmeye dayanır. Her iş potansiyel olarak ayrı bir projedir ve farklı planlama, kaynak ve uzmanlık gerektirir (Monden, 2011; Tanrisever vd., 2012; Teimoury vd., 2020).

Günümüzün Sipariş tipi operasyonları, müşteri spesifikasyonlarını verimli bir şekilde üretim planlarına dönüştürmek için bilgi yönetim sistemlerinden ve ileri teknolojiye tam olarak yararlanır. Tüm bu teknolojiyi bir araya getirerek, Sipariş tipinin birçok müşterisi tarafından ihtiyaç duyulan çeşitli özelleştirilmiş ürünlerin üretilmesindeki doğal komplikasyonları önler (Soman vd., 2004).

Sipariş tipi üretim planlaması, geleneksel üretim yaklaşımlarından farklı karakteristiklere sahiptir. Bu sistemde, standart ürünler için yapılan talep tahminleri yerine, her benzersiz siparişin mevcut kaynaklar, teknik uzmanlık ve teslimat süreleri göz önünde bulundurularak detaylı planlaması yapılmaktadır. Bu durum, gelişmiş planlama sistemlerinin ve nitelikli işgücünün gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu üretim sisteminde envanter planlaması ve kaynak tahsisi, proje yönetimi prensipleriyle benzerlik göstermektedir. Sipariş tipi üretimin ayırt edici özelliklerinden biri de envanter yaklaşımıdır. Toplu veya seri üretim sistemlerindeki yüksek seviyeli mamul stokları yerine, sipariş tipi üretimde minimum düzeyde stok bulundurulmaktadır (Gansterer, 2015).

Bunun yerine esnek üretim kabiliyetlerini korumaya ve gerektiğinde hammadde bulunabilirliğini sürdürmeye odaklanırlar. Bu yaklaşım, malların depolanmasıyla ilgili maliyetleri azaltır ancak tedarik zincirlerinin mükemmel bir şekilde yönetilmesini gerektirir. Ayrıca müşterilerin ihtiyaçlarını zamanında karşılamak için hızlı bir yanıt yeteneği gerektirir. Bu tür Sipariş tipi ortamında, işgücü tipik olarak standart üretim koşullarında bulunanlardan daha yüksek becerilere ve daha fazla çok yönlülüğe sahiptir. İşçilerin çeşitli üretim tekniklerini bilmeleri ve kendilerini farklı ürün özelliklerine göre ayarlayabilmeleri gerekir. Sonuç olarak ödenen ücretler daha yüksektir ancak rutin bir

işletmeye kıyasla çok daha iyi fiyat-ücret oranlarına sahip karmaşık ve uzmanlaşmış ürünlerin üstesinden gelebilir. Sipariş tipi, ürün farklılaştırması ve müşteri memnuniyeti açısından bir dizi avantaja sahip olsa da kendine özgü zorlukları da vardır (Carr ve Duenyas, 2000; He vd., 2014).

Ürün teslim süreleri seri üretime göre daha uzun olma eğilimindedir ve ölçek ekonomisi olmadığı için birim başına maliyetler artmaktadır. Dahası, böyle bir sistem, karmaşık projelerin tam müşteri teslim tarihleri içinde gerçekleştirilmesi ve ilgili tüm kaynakların verimli bir şekilde kullanılması için çok gelişmiş proje yönetimi bilgisi gerektirir. Sipariş tipi, güçlü müşteri ilişkilerine ve etkili iletişim kanallarına büyük ölçüde bağlıdır. Müşteri gereksinimlerinin yanlış yorumlanması ve doğru anlaşılabilmesi zaman açısından maliyetli olabilir. Sipariş tipiciler, iletişimi geliştirmek ve müşterilerinin tüm gereksinimlerini doğru bir şekilde yakaladıklarından emin olmak için dijital iletişim araçlarını ve sistemlerini giderek daha fazla kullanmaktadır (Soman vd., 2004; Gansterer, 2015).

Sipariş tipi üretim, ürün farklılaştırma ve özelleştirmenin büyük katma değer sağladığı endüstriler için ideal bir modeldir. Örneğin, araç asansörleri, özel yapım mobilyalar veya yapı bileşenleri gibi küçük ölçekli makineler üreten firmalar bu modele sıklıkla başvurur. Bu sistem, işletmelere daha küçük ve spesifik pazarlara etkin bir şekilde hizmet verme ve ürünlerinin benzersiz özellikleri sayesinde daha yüksek fiyatlar talep etme fırsatı sunar. Böylece, şirketler özelleştirilmiş ürünleri ve özgün üretim yetenekleriyle pazarda öne çıkarak kazanç sağlayabilir (Stevenson vd., 2011: 691).

Özellikle özel makineler, el yapımı mobilyalar ve mimari öğeler gibi benzersiz ürünlerin üretildiği endüstrilerde sipariş tipi üretim büyük avantajlar sağlar. Bu model, şirketlere niş pazarlara hizmet etme ve kendi uzmanlık alanlarında farklılık yaratma imkânı tanırken, aynı zamanda ürünleri için yüksek fiyatlar talep edebilmelerine olanak tanır.

Sipariş tipi üretim sistemi, müşteri taleplerine hızlı ve esnek bir şekilde yanıt verebilme özelliğiyle öne çıkar. Özellikle özel tasarım ve yüksek düzeyde özelleştirme gerektiren ürünlerin üretiminde bu sistem tercih edilir. Sistem, işletmelerin müşteri beklentilerini tam olarak karşılayan ürünler sunmasını sağlar ve bu da müşteri memnuniyetini artırır. Sipariş üzerine üretim sistemlerinin temel özellikleri, bu

yaklaşımın işleyişini daha detaylı anlamak için Tablo 1.2’de gösterilmektedir(Kingsman vd., 1996: 221; Stevenson vd., 2011: 691).

Tablo 1.2.Sipariş Tipi Üretim Sisteminin Kriterlere Göre Özellikleri

Kriter	Sipariş Tipi Üretim Sisteminin Özellikleri
Ürün çeşitleri	Müşteri spesifikasyonlarına göre özelleştirilmiş, yüksek çeşitlilikte ısmarlama
Üretim	Düzenli olarak tekrarlanmaz, sadece birkaç standart ürün
Temel güçlü yönler	Esneklik, hızlı karar verme, çalışanlardan etkili işbirliği
Zayıf yönler	Teknik üstünlük eksikliği, altyapı tesislerinin eksikliği finansal kaynak eksikliği
Rekabet faktörleri	Fiyat, teknik uzmanlık, teslimat süresi, toplantıda güvenilirlik, son tarihler
Siparişi kazanmada önemli faktörler	Gerçekçi ve şu anda rekabetçi teslimat tarihleri, gerçekçi ve şu anda rekabetçi fiyatlar, teknik beceri itibarı, kalite konusundaki itibar, finansman paketi, ürün verilerinin arşivlenmesi ve alınması, mevcut tasarımın değerlendirilmesi, ürün becerileri ve tesisleri, teslimat sürelerinin tahmini, maliyetler, kar tüm bölümler arasında marjlar, etkili iletişim ve koordinasyon

Kaynak: (Kingsman vd., 1996).

Tablo 1.2, sipariş tipi üretim sisteminin temel özelliklerini özetlemektedir. Sistem, müşteri spesifikasyonlarına göre özelleştirilmiş ve yüksek çeşitlilikte ürünlerin üretimini sağlar. Esneklik, hızlı karar alma ve etkili iş birliği güçlü yönlerken, teknik üstünlük ve finansal kaynak eksikliği zayıf yanlarıdır. Rekabet avantajı, fiyat, teknik uzmanlık, teslimat süresi ve güvenilirlikle sağlanırken, sipariş kazanımı için teslimat tarihine uyum ve kalite itibarı gibi faktörler önemlidir.

1.3.1.1.2. Parti Tipi Üretim

Parti tipi üretim, ürünlerin sürekli akış veya birim bazlı üretim yerine belirli miktarlarda üretildiği geleneksel üretim sistemini tanımlamaktadır. Bu sistem, seri üretimin ölçek ekonomisi avantajları ile özel üretimin karakteristik özellikleri olan esneklik ve hassas işçilik arasında bir denge noktası olarak gelişmiştir. Sürekli üretim sistemlerinin aksine parti tipi üretim, ekipman düzenlemelerinde değişiklik yapılmasına ve farklı ürünlerin üretimine olanak tanımaktadır. Parti üretiminin temel prensibi, aynı

ürün gruplarının belirli miktarlarda üretilmesidir. Bir partinin üretimi tamamlandıktan sonra, üretim hattı farklı ürünlerin üretimine uygun şekilde yeniden düzenlenebilmektedir (Kukulka ve Wirkus, 2017: 388-389).

Bu üretim sistemi, seri üretime tahsis edilmiş makinelerin statik yapısının ötesine geçmektedir. Özellikle talebin öngörülebilir düzeyde değişkenlik gösterdiği ve üretim faaliyetlerinin etkin planlamasının yapılabildiği sektörlerde tercih edilmektedir. Parti tipi üretim sisteminde planlama süreci, zaman ve kaynak kullanımının titizlikle koordine edilmesini gerektirmektedir. Yönetim kademesinin, parti büyüklüklerini belirlerken makine hazırlık maliyetleri ve üretim hatlarının kurulum maliyetleri arasında optimum dengeyi gözetmesi gerekmektedir. Her parti, üretim aşamalarından sıralı olarak geçmekte ve kalite kontrol işlemleri belirli noktalarda gerçekleştirilmektedir. Bu aşamalı yaklaşım sayesinde kaynak kullanımı optimize edilmekte ve olası sorunlar tüm partilerin üretimi tamamlanmadan tespit edilebilmektedir.

Parti üretiminin bir güçlü yanı da orta ölçekli operasyonlar için maliyet verimliliğidir. Şirketler, ürünleri partiler halinde üreterek, sürekli bir operasyonun parçası olarak kurulması halinde katlanılması çok yüksek olacak üretim maliyetlerinden tasarruf edebilir. Toplu alımlar, birim başına daha düşük maliyetlerle üretim yapılmasını mümkün kılar. İşçiler, seri üretimin sıkıcılığına katlanmak zorunda kalmadan uzmanlaşarak belirli bir süreçte uzmanlık geliştirebilirler (Winands vd., 2009: 553). Sistem hem bitmiş ürünler hem de hammaddeler için geniş depolama alanına ihtiyaç duyar. Bir fabrika içinde nakliye çoğu zaman sürekli üretimde olduğundan daha maliyetli ve karmaşık hale gelir. Bunun da ötesinde, seri üretim ortamlarına kıyasla daha az olmakla birlikte, bazı parti işlerinin tekrarlayan doğası nedeniyle çalışanların motivasyonu azalabilmektedir.

Parti üretiminin büyük ölçekli esnekliği, bu modu özellikle üretimin mevsime bağlı olduğu veya pazar talebinin önemli ölçüde değiştiği endüstriler için uygun hale getirir. Şirketler parti büyüklüklerini ve çalışma programlarını pazarı karşılayacak şekilde ayarlayabilir ve aynı zamanda herhangi bir partideki tüm ürünler için ortak olan süreçler yoluyla kalite standartlarını yüksek tutabilir (Cooney, 2002). Bu tür bir dayanıklılık, üreticilerin tüm sistemi değiştirmek zorunda kalmadan yeni ürünler veya değişiklikler sunmasını da sağlar. Modern seri üretim sistemlerinde otomatik kontrol ve dijital takip devreleri yangın yönetimi giderek yaygınlaşmaktadır.

Teknolojik yeniliklere rağmen, parti üretimin temel prensibi değişmemiştir. Verimlilik ve esneklik elde etmek için süreçler arasında hassas bir şekilde eşleştirilmiş, koordine edilmiş ve entegre edilmiş sabit bir sayı söz konusudur. Bu üretim modeli yönetim açısından oldukça yoğundur; makinelerin kurulum süreleri, malzemelerin mevcudiyeti, depolama tesisleri ve işgücü planlamasının iyi yönetilmesi gerekir. Doğru yapıldığı takdirde, parti üretimi seri üretimden çok daha fazla esnekliğe sahip olmakla birlikte, ısmarlama üretimden daha az işçilik gerektirmektedir(Nota vd., 2020).

1.3.1.2.SürekliÜretim Sistemleri

Sürekli üretim kavramı ilk olarak, sürecin birkaç yıl boyunca kesintisiz olarak çalıştığı yüksek fırın kullanılarak pik demir üretiminde ortaya çıkmıştır. Petrol rafinasyonu, kimyasallar, sentetik elyaf, gübre, enerji üretimi, doğal gaz ve atık su arıtımı gibi üretim süreçlerinde de uygulanmaktadır (Chacón vd., 2021: 2065).

➤ **Üretim Hatları:** Ürünler bir partiden diğerine kesintisiz olarak hareket eder. Bu kavram, ilk olarak yıllarca kesintisiz çalışan yüksek fırınlar kullanılarak pik demir üretiminde ortaya çıkmıştır. Bu yaklaşım, petrol rafinasyonu, kimyasallar, sentetik elyaf, gübre üretimi, enerji üretimi, doğal gaz ve atık su arıtımı gibi endüstrilerde yaygınlaşmıştır (Maes vd., 1998).

➤ **Stok Üretimi:** Ürünler bireysel siparişler için değil, stok için üretilir. Üretim planlaması, olası talebi tahmin etmek için bir satış öngörüsüyle başlar, ardından geçmiş siparişlere ve stok seviyelerine dayalı bir ana program oluşturulur. Girdiler ve süreçler standartlaştırılmıştır, bu da tüm faaliyetlerin tek tip rotalama ve planlamasını sağlamaktadır (Hernandez, 2015; Byrn vd., 2015).

➤ **Büyük Miktarlar ve Yüksek Verimlilik:** Sistem, düşük birim maliyetle büyük ölçekli, yüksek kapasiteli üretim gerektirir. Yüksek otomasyonlu makinelerle çalışma, insan katılımını en aza indirir. Malzemeler bir üretim hattı boyunca sürekli akar ve bir işlemten diğerine kesintisiz geçer. İlk giren ilk çıkar akış yöntemi benimsenerek malzeme taşıma ve nakliye gereksinimleri en aza indirilmektedir (Burcham vd., 2018).

➤ **Standardizasyon ve Otomasyon:** İşlemler, ürün kalitesini ve istikrarını garantilemek için standartlaştırılmış ve tekrarlanabilir. Yüksek otomasyon seviyeleri, makinelerin çok az insan müdahalesiyle neredeyse sürekli çalışmasına olanak tanır. Üretim zincirinin ana görevi birim zamanda çıktıdır ve yüksek verimli, yüksek hızlı

çalışmaya odaklanılır. Üretim kontrolü sıkıdır ve verimlilik teknikleri yoğun olarak kullanılmaktadır (Tanrıtanır, 1992: 130).

➤ **Kaynak Yönetimi:** Bu sistem, sürekli operasyonları kaynakların verimli kullanımı için optimize ederek enerji ve malzemedeki tasarruf sağlar. Stoktan sabit malzeme kullanımı ve sık bakım temel özelliklerdir. Kalite kontrolü sıkıdır ve verimlilik becerileri yaygın olarak kullanılmaktadır (Duan vd., 2022).

Sistem özellikle petrokimya tesisleri, rafineriler, metal üretimi ve kâğıt üretimi gibi büyük ölçekli endüstriyel tesislerde yaygın olarak kullanılır. Yüksek hacimli üretim ve maliyet tasarrufunda avantajları olmasına rağmen, ürün çeşitliliğinde esneklik yoktur ve uzun vadeli planlama gerektirir. Sürekli üretimin başarısı, standart ürünlere yıl boyunca süren talep sağlamaya, verimli iş bölümüne ve kalite kontrol önlemlerinin tutarlı bir şekilde uygulanmasına bağlıdır.

1.3.1.2.1. Kitle Üretim Sistemleri

Kitle Üretim Sistemleri, Amerika Birleşik Devletleri'nde seri üretim olarak tanınmıştır. Kitle Üretim, aynı tür ürünün sürekli olarak veya uzun bir süre boyunca büyük miktarlarda üretilmesi anlamına gelir. Normalde, üretim hacmi en az binlerle (tercihen milyonlarla) ifade edilmeli ve günlük iş dalgalanmalarına tabi olmamalıdır. Televizyon setleri, bilgisayarlar ve otomobiller seri üretilen ürünlerin tipik örnekleridir. Bir ürün için yüksek talep oranları tipik olarak seri üretimle ilişkilendirilir. Üretim tesisleri genellikle tek tip ürün ve varyasyonlarının üretimine (örneğin, aynı tesiste iki kapılı ve dört kapılı arabalar üretebilirler) odaklanır (Yertüm, 2017: 71).

Dahil edilen takım tezgâhları, büyük miktarlarda tek tip parçayı hızlı bir şekilde üreten (hücreli düzenlemeler gibi çeşitli varyasyonlar mevcuttur) ve üretim işlemlerinin gerçekleşmesi gereken sıraya göre düz bir hat halinde düzenlenmiş özel amaçlı ekipmanlardır. Ürün tamamlanana kadar tüm süreç bu takım tezgâhları üzerinden ilerler. Takım tezgahlarının bu düzenine ürün yerleşimi adı verilmektedir.

Kitle üretim sistemi, standartlaştırılmış ürünlerin seri ve büyük miktarlarda üretildiği bir imalat yöntemidir. Bu sistem, üretim süreçlerini optimize ederek birim başına maliyeti minimize etmeyi hedeflemektedir. Sanayi devrimleriyle birlikte ortaya çıkan seri üretim sistemi, modern endüstriyel üretim sürecinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kitle üretimin temel özellikleri şu şekildedir: (Haak, 2006; Akdoğan ve Vanlı, 2020).

- Yüksek Hacimli Üretim: Büyük miktarlarda ürün üretimini ifade eder; üretim hatları birim zamanda yüksek çıktı sağlar.
- Standardizasyon: Üretim süreçlerini daha verimli ve tekrarlanabilir hale getirerek müşteri gereksinimlerine hızlı yanıt verme ve düşük maliyetli üretim avantajları sağlar.
- Üretim Hatları ve İş Bölümü: Belirli görevlerde uzmanlaşmış işgücü ile bir veya birkaç ana montaj hattına odaklanır.

Düşük maliyet ve ölçek ekonomileri, birim başına maliyetleri azaltmayı amaçlar. Yüksek otomasyon seviyesi, üretim süreçlerinin daha hızlı, verimli ve daha az hatayla çalışmasını sağlar. Üretim planlaması ve stok yönetimi belirli bir çerçeve içinde yürütülür; müşteri ihtiyaçlarını hızlı karşılamak için stoklar en uygun seviyede tutulur.

Sınırlı Ürün Çeşitliliği, süreçleri en iyi hale getirmeye ve maliyetleri düşürmeye yardımcı olan belirli ürün veya ürün gruplarına odaklanır. Hızlı Üretim ve Teslimat, standartlaştırılmış seri üretim yoluyla hızlı yanıt vermeyi destekler. Kitle üretim sistemi, otomotiv, elektronik, ev aletleri ve tekstil gibi sektörlerde yaygın olarak kullanılır ve düşük maliyetle büyük miktarlarda standart ürün üreterek ekonomik verimliliği en üst düzeye çıkarmayı hedefler(Akhtar ve Abdullah, 2014).

1.3.1.2.2. Akış Tipi Üretim

Akış tipi üretim, otomobil üretiminde olduğu gibi, ürünlerin bir üretim hattında sürekli olarak üretildiği bir yöntemdir. Otomobil montaj hattında kapılar, motorlar, gövde panelleri ve tekerlekler şasiye teker teker yerleştirilir. Bu sistemin ana avantajı, işletmelerin aynı üründen çok sayıda üretmek istemesi ve süreç optimizasyonuna sahip olmasıdır. Akış tipi üretim, standart ürünlerin büyük miktarlarda ve sürekli olarak üretildiği bir üretim yöntemidir. Sistem, üretim sürecini optimize ederek parça başına düşük maliyetli üretimi hedefler (Groten ve Gallego-García, 2021; Rahani ve Al-Ashraf, 2012).

Akış tipi üretim sistemi, Sanayi Devrimi ile birlikte ortaya çıkan endüstriyel üretim süreçlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek düzeyde otomasyon ve standardizasyon ile karakterize edilir; montaj hatları emeği böler ve ölçek ekonomilerinden yararlanır. Envanter yönetimi müşteri talebine hızlı bir şekilde yanıt verecek şekilde optimize edilmiştir ve ürün çeşitliliği sınırlıdır. Bu tür bir sistem

özellikle otomotiv, elektronik, ev aletleri ve tekstil sektörlerinde bulunur (Jolaade vd., 2022; Salah vd., 2023).

Akış tipi üretim, bir adımdan diğerine sırayla geçme ve hammaddeyi yol boyunca ürüne dönüştürme sürecidir. Bir ürünün üretildiği her saha, üretimin sürekli olarak devam edebileceği şekilde düzenlenmiştir. Bu sistem Toyota Üretim Sistemi gibi yönetim felsefelerinde somutlaştırılmıştır. Tam zamanında üretim, entegre iş istasyonları ve esnek ürün tasarımı ile karakterize edilir. Kalite kontrolü sürekli ve hatalar anında tespit edilip düzeltilir (Alahmadi ve Jamjoom, 2022). Kanban gibi sistemler, malzemelerin iş istasyonları arasındaki hareketini düzenler ve işletmeler, farklı işlerde çalıştıkları için çeşitli becerilere sahip olması gereken çalışanlar için çok modlu personel eğitim programlarına büyük önem verir (Haak, 2006; Chiarini vd., 2018).

Akış tipi üretim, özellikle otomotiv ve elektronik endüstrilerinde başarıyla uygulanmıştır. Bu sistem, bir ürüne yönelik müşteri talebine hızlı yanıt verme, düşük stok seviyesi ve sürekli iyileştirmeye odaklanma gibi avantajlar sunmaktadır. Akış tipi üretim, sermaye yoğun iş uygulamalarına, çalışanlar tarafından yüksek makine kullanımına, düşük maliyetle büyük miktarlarda üretim yapabilmeye ve sürekli çalışma seviyelerine olanak sağlar. Bununla birlikte, çok büyük miktarlarda makine ile süreçleri değiştirmenin zorluğu, özelleştirmede sınırlı esneklik ve potansiyel çalışan monotonluğu gibi dezavantajları da beraberinde getirir, bu nedenle personel motivasyonu konusunda dikkatli bir yönetim eylemi gerektirir (Dinis-Carvalho ve Macedo, 2021; Çiftçi, 2020).

1.3.1.3.Proje Tipi Üretim Sistemleri

Bu sistemler, proje üretimi ya da yaratımdan tasarıma ve inşaata uzanan doğrusal seriler olmak üzere iki türdür ve önceden belirlenmiş tahmini maliyet seviyeleri ile kesin zaman kısıtlamaları altında çalışır. Bir nesne bu tür bir üretimle üretildiğinde, dönüşüm sürecindeki sabit bir stok parçası niteliğinde olup işçiler sabit bir noktada çalışmaktadır. Gemi yapımı, lokomotif üretimi, uçak üretimi, yol yapımı ve bina inşası için montaj düzenlemeleri sabit bir şekilde gerçekleştirilir (Shenoy ve Zabelle, 2016: 5).

Proje tipi üretim, “planlama, sözleşme ile belirli projeler tasarlama” uygulayan ve yapılacak iş için spesifik gereksinimleri belirleyen bir üretim sistemidir. Bu sistem

özellikle tek seferlik, büyük ölçekli ve belirli gereksinimleri karşılayan işler için uygundur; her proje, müşterinin isteklerine uygun şekilde ayrı ayrı tasarlanır ve yürütülür. Bu tür projeler seri üretimden ziyade kişiye özeldir ve her biri hem konsept hem de üretim açısından özgündür (Taylor ve Levitt, 2004). Sistem, müşteri talebini karşılamak veya belirli bir projenin özel gereksinimlerini karşılamak için planlama ve tasarım süreçlerinde esneklik sağlar. Bu esneklik, proje ilerledikçe değişiklikler ve uyarlamalar yapmak için kritik öneme sahiptir. Bu proje türünde üretim kaynakları yönetimi özellikle değişkendir ve talepler zamana eşit olarak dağılmaz. Genellikle, kaynaklara olan talep düşük başlar, proje ilerledikçe hızla artar ve son aşamaya yaklaştıkça kademeli olarak azalır.

Proje yönetimi bu sistemlerde kritik role sahiptir ve proje yöneticileri kaynak planlaması, süreç izleme ve farklı uzmanlık alanları arasında koordinasyondan sorumludur. Proje sürecinde, müşteri ve ilgili kuruluşlar arasında sürekli iletişim mevcuttur. Her proje, etkin bir şekilde yönetilmesi gereken riskler ve belirsizlikler içerir; bu nedenle proje yöneticileri olası durumlar için beklenmedik durum planları ile çoklu senaryo hazırlamak durumundadır (Jiang vd., 2015). Programlama ve kontrol, çeşitli faaliyetleri, kurumsal katılımları ve stratejik öncelikleri içeren proje tipi üretimin temel unsurlarıdır. Bu kapsamda Kritik Yol Yöntemi (CPM) ve Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği (PERT), planlama, kontrol ve proje ilerleme takibinin optimizasyonu için kullanılmaktadır.

Bu sistemler, yazılım geliştirme ve özel tasarım projeleri ile benzer özelliklere sahip inşaat mühendisliği projelerini de kapsayan tüm endüstrilerde uygulanmaktadır. Her biri proje tipi üretimin genel prensiplerini uygularken özel adaptasyonlar gerektirmekle birlikte, özgünlük, sonuç odaklılık ve kaynakların sistematik yönetimi gibi temel özelliklere uygunluk gösterir (Cruz Villazón vd., 2020). Projeler, proje tipi üretim sistemleri tarafından yürütülür ve çeşitli organizasyonlar tarafından yönetilir. İlerleme, katı öncelik kurallarına göre yönetilir; bazı görevlerin diğerlerinin gerisinde kalması kritik sonuçlar doğurabilir. Bu tür projelerde başarının temel unsurları, etkin iletişim ve planlama ile proje süresince esnek kaynak yönetimi ve öz yeterlilik becerisidir.

1.3.2. Modern Üretim Sistemleri

Modern Üretim Sistemleri (MÜS), geleceğin fabrikası olarak ortaya çıkmıştır ve atölyedeki operatör rollerini optimize ederek veya dönüştürerek üretkenliği artırmaya odaklanmaktadır. Bu sistemler çeşitli üretim teknolojilerini içermektedir (Tsarouhas, 2023): Bilgisayar Entegre/Bilgisayar Destekli Üretim Sistemleri, Esnek Üretim Sistemleri, Yalın Üretim Sistemleri ve Grup Teknolojisi/Hücreli Üretim Sistemleri. MÜS sistemleri başlangıçta çeşitli otomatik üretim araçları ve makinelerindeki farklılıkları ve kısıtlamaları optimize etmek için tasarlanmıştır. İkinci olarak, MÜS, otomatik üretim sistemlerinin kullanımıyla elde edilebilecek üretim performansında devrim yaratmayı amaçlamıştır. Bu gelişme, pazarın ürün yaşam döngülerini hızla kısaltmasına paralel olmuştur. İleri üretim teknolojileri, artan kalite, yüksek esneklik ve maliyet optimizasyonu gibi stratejik rekabet avantajlarının kaynağı olarak görülmüştür.

MÜS'ün getirdiği birincil fayda, yeni nihai ürünlerin geliştirilmesi, üretilmesi ve pazarlanması için gereken sürenin minimize edilmesidir. Bu sistem, tüm kilit süreçleri yöneterek, üretim verimliliğinin artmasına ve kalitenin daha homojen dağılmasına imkân sağlamaktadır. Pazarlama alanında, MÜS tesislerindeki kapsamlı esneklik ve yanıt verebilirlik sayesinde hem ürün teslim süreleri hem de müşteri hizmetleri optimize edilir. Ürünler müşterilere daha hızlı ulaşır, böylece memnuniyet düzeyi artar. Bu süreçte, azalan stoklar, bir tesis için genel olarak sabit maliyetlerin minimize edilmesi anlamına gelir (Jasti vd., 2022). Gelişen Teknolojiler ve Uygulamalar kapsamında modern üretimde akıllı üretim ve titiz modelleme önemli bir eğilim olarak öne çıkmaktadır. Önemli bir uygulama alanı olan hızlı prototipleme, lazer ve fotokimyasal (gri tonlamalı) aşındırma teknolojisini kullanarak üç boyutlu prototip modeller üretmek için hızlı modelleme tekniklerinin kombinasyonunu içerir. Bu süreç, CAD dosyası ile birlikte optik tarama ve bilgisayar teknolojisini kullanarak model geliştirme sürecini yürütmektedir. Bu yaklaşım, model yapmak için gereken süreyi önemli ölçüde optimize etmektedir (Tsarouhas, 2023).

MÜS'ün insan merkezli yönü, gerçek üretim süreçlerinin bilgisayar kontrollü olmasına rağmen, ayarlama, programlama, gözlemlleme, önleme, bakım, tespit, düzeltme, yaratıcılık ve optimum çalışmanın hala mühendislik ve üretim personelinin sorumluluğunda olmasıdır. Bilgi ve teknik sistemler bu personel tarafından karar vermeyi desteklemek için kullanılır. Bu, iş tasarımının operatörün kontrolünü mümkün olduğunca geliştirmeye vurgu yaptığı anlamına gelir: Bir çalışan bir sistem otomasyonu

ile aynı anda birçok süreci giderek daha etkin yönetebiliyorsa, rolü operatörden sistem monitörüne evrilir.

MÜS'deki insan operatörler makineler arasındaki konumlarını işledikleri parçalar, ekranlarda gördükleri veriler ve kontrol ayarlarını yaparak veya çoğunlukla anahtar makinelerin önündeki bilgisayarlı kontrol panelleri aracılığıyla komutları girerek belirlerler. Denetleyici kontrol, operatörlerin aralıklı dikkat gerektiren kompleks makinelerle birçok makine grubundan sorumlu olmasını içerir ve yüksek düzeyde algısal ve bilişsel işlevler gerektirir (Gola, 2021).

Üretim süreçleri ve sistemleri tarafından üretilen veriler istatistiksel olarak analiz edilir. Algoritmik yöntemlerle üretilmesi gereken denklem ve sayısal ilişkiler kullanılarak üretim problemleri modellenenir. Üretim süreçleri nicel analiz, matematiksel modelleme ve bilgisayar simülasyonları yoluyla optimize edilebilir. Yazılım paketleri, daha etkin modelleme için grafik kullanıcı ara yüzleri, daha kapsamlı veri için elektronik tablolar ve veri tabanları sunar. Ayrık olay üretim sistemi simülasyon modellemesi, üretim sistemlerinin araştırılması, modellenmesi, analiz edilmesi, tasarlanması ve iyileştirilmesi için en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir.

1.3.2.1.Bilgisayarla Bütünleşik / Bilgisayar Destekli Üretim Sistemleri

Bir üretim sisteminin hızla değişen pazarlara ve endüstride ortaya çıkan teknolojilere adaptasyonu gerekmektedir. Modern üretim zorlukları ve çözümleri şu şekilde analiz edilebilir:

Üretim zorlukları, eşzamanlı değişikliklerin benzeri görülmemiş bir hızda meydana gelmesi sonucunda giderek daha kompleks hale gelmiştir. Bu yeni değişkenler, üretim sistemlerinin her yönüne nüfuz etmekle birlikte, güçlü modelleme ve simülasyon yöntemleri ile sistematik şekilde planlandıkları, tasarlandıkları ve desteklendikleri sürece etkili rekabet araçları haline getirilebilirler.

Modern üretim ortamındaki temel değişiklikler ve talepler, kritik zorluklar altındadır. Ürünler daha komplekstir; artan ürün sorumluluğu ve müşterilerin bu tür ürünlerin kullanımına ilişkin kapsamlı talimat talepleri nedeniyle daha yüksek kalite standartları gerektirmektedir. Her bir ürünün bileğinizde sadece küçük bir yer kaplaması için farklı şekillerde dönen kadranslar, burada farklı ızgara veya kuyruk kanadı işlemleriyle tasarlanmış araba gövdeleri ve müşterilerin tercih ettiği iki farklı şekilde harekete geçen elektrikli arka kapıları olan arabalar gibi ürünler daha bireysel müşteri

odaklıdır. Bu kısaltılmış ürün yaşam döngüsü, işletmeleri üretkenliği artırmaya ya da pazar dışında kalmaya zorlamaktadır (Gümü, 2017: 57).

Bu yeni ortamda işletmelerde azalan uzmanlığı telafi etmek için tasarım kalitesi seviyesini iyileştirme gerekliliği mevcuttur. Bu ortamda başarı için daha kısa teslimat süreleri, daha fazla esneklik, daha etkin tedarikçi iletişimi ve iş birliği, daha fazla üretim kontrolü, gelişmiş tasarım kabiliyeti ve her şeyden önce gerçekleştirme hızı gerekecektir ve bunlar gelecekteki rekabet gücünü belirleyecek faktörlerdir.

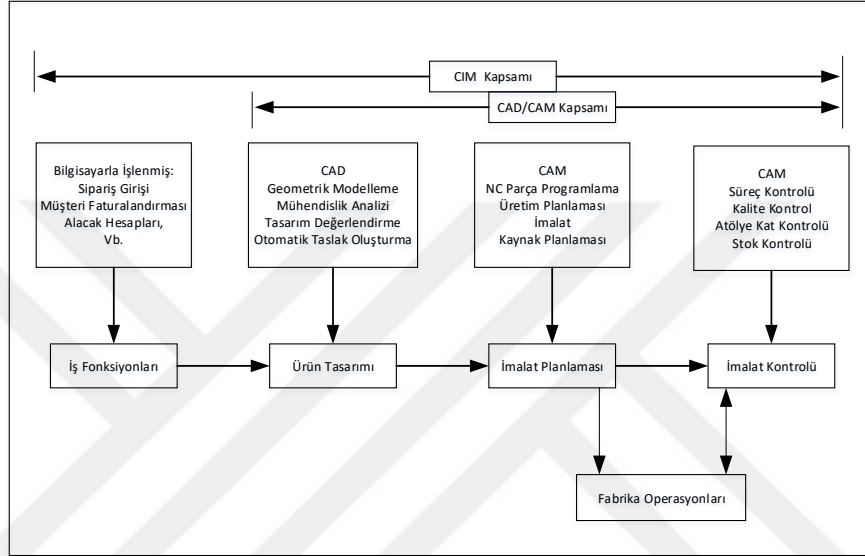
Bilgisayarla Entegre Üretim (CIM), tüm üretim organizasyon sistemini ve her bir fonksiyon arasındaki entegrasyonu kapsamaktadır. Sistemin ana bileşenleri Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD), Bilgisayar Destekli Üretim (CAM), Bilgisayar Destekli Süreç Planlama (CAPP), Bilgisayar Destekli Kalite Kontrol (CAQC) ve Üretim Planlama ve Kontrol (PPC)'dir.

CAD ve CAM entegrasyonu geleneksel tekniklerin ötesinde önemli bir gelişmeyi temsil etmektedir. Üretim mühendisliğinin sonradan düşünüldüğü ve ürün tasarımının aylar öncesinden yapıldığı geleneksel prosedürlerden farklı olarak CAD/CAM, ürün tasarımı ve mühendisliğini tek bir sistemde birleştirmektedir.

Sistemin amacı sadece belirli tasarım veya üretim aşamalarını otomatikleştirmek değil, tasarımdan üretime geçişi tamamen otomatikleştirmek üzere yapılandırılmıştır. İdeal bir CAD/CAM sisteminde, CAD veri tabanındaki tasarım özellikleri otomatik olarak bir ürünün üretimi için süreç planına dönüştürülebilir; sonrasında üretim işlemlerinin çoğu sayısal kontrollü makine takımlarında gerçekleştirilir. Süreç planlamasının ayrılmaz bir parçası olan NC (Sayısal Kontrol) parça programı, CAD/CAM sistemi tarafından otomatik olarak oluşturulur ve herhangi bir terminalden bir makine takımına hat üzerinden aktarılabilir. Böylece ürünün gerçek bilgisayar kontrollü tasarımı, NC programlaması ve fiziksel üretimi gerçekleştirilebilir (Aktepe vd., 2009: 551).

Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) ve Bilgisayar Destekli Üretim (CAM); Şekil 1.2, bilgisayar destekli tasarım (CAD), bilgisayar destekli üretim (CAM) ve bilgisayar entegrasyonlu üretim (CIM) sistemlerinin kapsamını ve işleyişini açıklamaktadır. Şekle göre, bu sistemler entegre işlevlerden oluşmaktadır. İş fonksiyonları, müşteri siparişleri ve hesap işlemleri gibi temel süreçleri içerirken; ürün tasarımı aşaması CAD ile gerçekleştirilmekte ve geometrik modelleme, mühendislik analizleri gibi görevler bu

aşamada ele alınmaktadır. Üretim planlaması aşamasında CAM kullanılarak parça programlama, üretim süreçlerinin organizasyonu ve kaynak planlaması yapılır. İmalat kontrolü ve fabrika operasyonları ise kalite kontrol, stok kontrolü gibi süreçlerle tamamlanır. Şekil, bu unsurların CIM kapsamında nasıl bir bütün oluşturduğunu ve CAD/CAM entegrasyonu ile üretim süreçlerinin optimize edildiğini göstermektedir (Demirel ve Karaağaç, 2014: 652; Xu vd., 2014: 107; Groover, 2016: 690).



Şekil 1.2. CAD / CAM ve CIM Kapsamı ve Bir CIM Sisteminin Bilgisayarla İşlenmiş Öğeleri

Kaynak:(Groover, 2016: 690).

▪ **Bilgisayar Destekli Süreç Planlama (CAPP);** Süreç planlaması manuel olarak yapıldığında sorunlar ortaya çıkar. Farklı süreç planlayıcıları, fabrikadaki mevcut süreçler hakkında farklı deneyim, beceri ve bilgiye sahiptir. Bu, belirli bir parça için süreç planının, onu geliştiren süreç planlayıcısına bağlı olduğu anlamına gelmektedir. Farklı bir planlamacı muhtemelen rotayı farklı şekilde planlayacaktır. Bu da fabrikadaki süreç planlarında farklılıklara ve tutarsızlıklara yol açmaktadır. Bir başka sorun da atölyede eğitim görmüş, talaşlı imalat ve diğer süreçlerin detaylarını bilen kişilerin yavaş yavaş emekli olması ve gelecekte süreç planlaması yapamayacak olmalarıdır. Bu sorunların bir sonucu olarak, imalat şirketleri Bilgisayar Destekli Süreç Planlama (CAPP) kullanarak süreç planlama görevini otomatikleştirmekle ilgilenmektedir. CAPP'den elde edilen faydalar şunlardır (Xu vd., 2011; Yusof ve Latif, 2013):

- **Süreç rasyonalizasyonu ve standardizasyonu;** Otomatik süreç planlaması, manuel süreç planlamasına göre daha mantıklı ve tutarlı süreç planlarına yol açar. Standartlaştırılmış planlar, daha düşük üretim maliyetleri ve daha yüksek ürün kalitesi ile sonuçlanma eğilimindedir.

- **Süreç planlayıcılarının verimliliğinin artması;** Veri dosyalarındaki sistematik yaklaşım ve standartlaştırılmış süreç planlarının mevcudiyeti, süreç planlayıcılarının daha fazla iş yapmasını sağlar.

- **Süreç planlaması için daha kısa teslim süresi;** CAPP sistemi ile çalışan süreç planlayıcıları, manuel hazırlığa kıyasla daha kısa bir teslim süresi ile rota sayfaları sağlayabilir.

- **Daha iyi okunabilirlik; Bilgisayarlı rota çizelgeleri,** manuel olarak hazırlanan rota çizelgelerine göre daha temiz ve okunması daha kolaydır.

- **Diğer uygulama programlarının entegrasyonu;** CAPP programı, maliyet tahmini ve çalışma standartları gibi diğer uygulama programlarıyla arayüz oluşturabilir.

Bilgisayar Destekli Kalite Kontrol (CAQC); ürün kalite kontrolü için bilgisayarların kullanıldığı bir sistemdir. CAQC'nin iki ana bileşeni Bilgisayar Destekli Denetim (CAI) ve Bilgisayar Destekli Test (CAT) olup, bunlar en güncel bilgisayar otomasyonu ve sensör teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilir. CAI ve CAT bağımsız sistemler olup, bunlar olmadan CAQC'nin tam potansiyeline ulaşamamaktadır. CAQC'nin temel hedefleri ürün kalitesini iyileştirmek, denetim sürecinde verimliliği artırmak ve üretimdeki teslim sürelerini minimize etmektir. CAQC'nin işletmede uygulanması, kalite kontrol sürecinin yürütülme biçiminde önemli değişiklikler sağlamaktadır (Groover, 2016: 688; Alrae, 2024).

CAQC'nin önemli özellikleri ve avantajları şu şekilde sıralanabilir (Zheng Chen, 2004; Yang, 2007; Rimvall ve Jobling, 2019; Alrae, 2024);

- **%100 test ve muayene:** Geleneksel manuel süreçte örnekleme yöntemiyle gerçekleştirilen test ve muayene işlemleri, CAI ve CAT ile tüm ürünler için gerçekleştirilebilmektedir.

- **İmalat süreciyle entegre denetim:** Denetim süreci üretim sürecine entegre edilerek, ürünler üretim hattında anlık olarak test edilebilmektedir.

- **Temassız sensörlerin kullanımı:** Üretim hattı boyunca konumlandırılan temassız sensörler ile ürünler hızlı ve etkin şekilde denetlenebilmektedir.

- *Bilgisayarlı geri besleme kontrol sistemi:* Sensör verileri bilgisayarlı kontrol sistemlerine aktarılarak istatistiksel analizler gerçekleştirilmekte ve süreç optimizasyonu sağlanmaktadır.

- *CAD/CAM entegrasyonu:* CAQC uygulamaları CAD/CAM ile entegre edilerek tam otomatik bir süreç oluşturulmaktadır.

- *Üretim Planlama ve Kontrol (PPC);* üretimde karşılaşılan lojistik sorunların yönetimi ile ilgilenmektedir. Bilgisayarlar, ürün ve kaynak verilerinin işlenmesi ve üretim programıyla entegrasyonu için kritik öneme sahiptir. PPC, bilgisayarla bütünleşik üretimin temel bileşenidir.

PPC'deki planlama ve kontrol bileşenleri doğrudan entegre işlevler olarak tasarlanmalıdır. Plana ulaşmak için fabrika kaynaklarının etkin kontrolü olmadan üretim planlaması yetersiz kalacaktır. Benzer şekilde, fabrikanın performansını karşılaştıracak sistematik bir plan olmadan üretimin kontrolü etkili olmayacaktır.

Hem planlama hem de kontrol süreçleri, birbirleriyle ve işletmedeki süreç planlama, eş zamanlı mühendislik ve ileri üretim planlama gibi diğer işlevlerle koordineli şekilde yürütülmelidir. PPC'nin entegre yapısı kapsamında, her bir fonksiyonun içeriğini tanımlamak önem taşımaktadır: Bunlar üretim planlama ve üretim kontroldür. Üretim planlaması aşağıdaki süreçleri kapsamaktadır:

- Hangi ürünlerin ne miktarda üretileceği ve ne zaman tamamlanacağına ilişkin kararlar.
- Parçaların ve ürünlerin teslimat ve/veya üretim planlaması.
- Üretim planını gerçekleştirmek için gereken işgücü ve ekipman kaynaklarının optimizasyonu.

Üretim planlaması kapsamında gerçekleştirilen temel faaliyetler şu şekilde detaylandırılabilir (Guide, 2000; Sanders, 2013; Rimvall ve Jobling, 2019; Salimi vd., 2006: 184):

- ***Toplam Üretim Planlaması;*** Bu, firma tarafından üretilen ana ürün hatları için üretim çıktı seviyelerinin planlanmasını içerir. Bu planlar, ürün tasarımı, üretim, pazarlama ve satış dahil olmak üzere firmadaki çeşitli fonksiyonlar arasında koordine edilmelidir.

- **Ana Üretim Planlaması;** Parti üretim planı, her bir ürün hattındaki münferit modellerden üretilecek miktarların belirli bir planı olan bir MPS'ye (Ana Üretim Programı) dönüştürülmelidir.

- **Malzeme İhtiyaç Planlaması (MRP - Material Requirement Planning);** MRP, genellikle bilgisayar tarafından uygulanan ve nihai ürünlerin MPS'sini bu nihai ürünlerde kullanılan hammadde ve parçalar için ayrıntılı bir programa dönüştüren bir planlama tekniğidir.

- **Kapasite Planlaması;** Ana programa ulaşmak için gereken işgücü ve ekipman kaynaklarının belirlenmesiyle ilgilidir.

- **Üretim Kontrolü;** üretim planını uygulamak için gerekli kaynakların mevcut olup olmadığını belirlemek ve eksiklikleri gidermek için düzeltici önlemler almaktan oluşur. Adından da anlaşılacağı üzere, üretim kontrolü, fabrikadaki üretim ve envanteri kontrol etmek için çeşitli sistem ve teknikleri içerir. Bu bölümde ele alınan başlıca üretim kontrol konuları aşağıdaki gibidir.

- **Atölye Kontrolü;** atölye kontrol sistemleri, fabrikadaki üretim siparişlerinin fiili ilerlemesini ve durumunu üretim planları (MPS ve MRP programı) ile karşılaştırır.

- **Envanter Kontrolü,** bir firmanın envanterini yönetmek için çeşitli teknikleri içerir. Envanter kontrolündeki önemli araçlardan biri ekonomik sipariş miktarı formülüdür.

- **Üretim Kaynakları Planlaması**(MRP II Manufacturing Resource Planning) olarak da bilinen Üretim Kaynakları Planlaması, MRP ve kapasite planlamasının yanı sıra atölye kontrolü ve PPC ile ilgili diğer işlevleri birleştirir.

- **Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP),** MRP II'nin üretimle ilgili olmayanlar da dahil olmak üzere kuruluşun tüm işlevlerini içeren bir uzantısıdır.

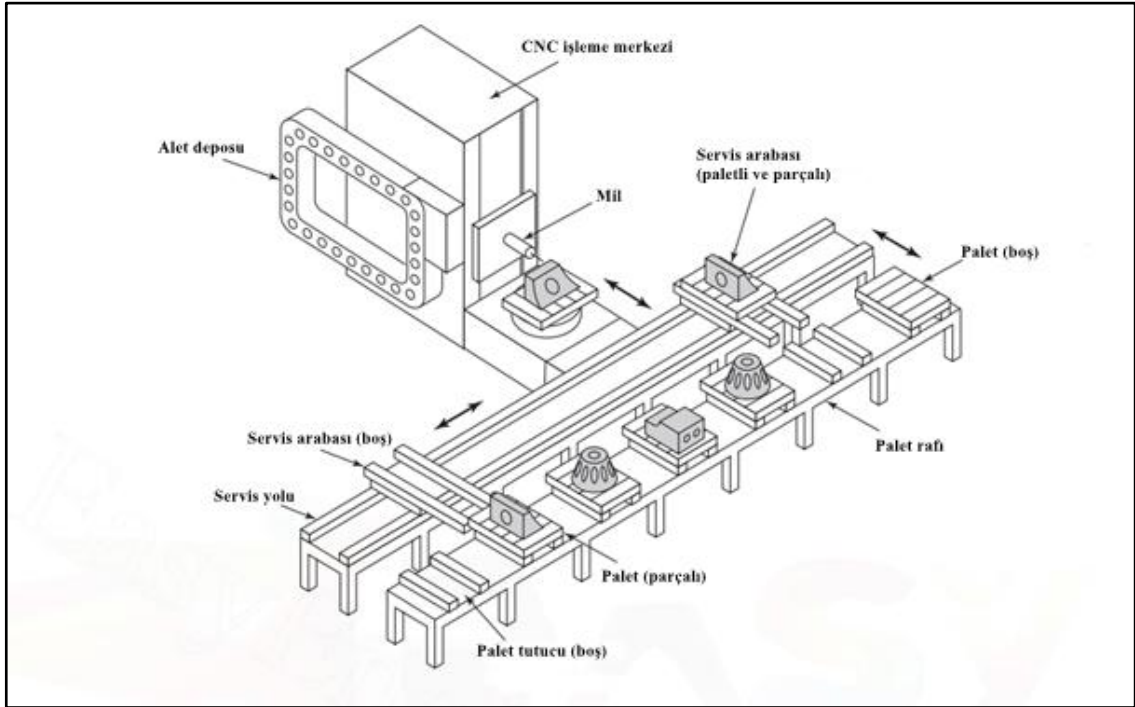
1.3.2.2.Esnek Üretim Sistemleri

Esnek Üretim Sistemi (EÜS), birbirine bağlı otomatik malzeme taşıma ve depolama sistemleri ile merkezi bir bilgisayar sistemi tarafından yönetilen bir veya daha fazla işleme istasyonundan oluşan otomatik Grup Teknolojisi (GT) makine hücrelerinden meydana gelir. EÜS, farklı iş istasyonlarında aynı anda çeşitli parça türlerini işleyebilir ve talep değişikliklerine yanıt olarak parça türlerinin ve üretim miktarlarının dağılımını esnek bir şekilde düzenleyebilir; bu yüzden “esnek” olarak tanımlanır.

Grup teknolojisi ilkelerine dayanan bir EÜS, tamamen esnek olmasa da üretebileceği parça veya ürün çeşitliliği belirli sınırlar içinde kalır. Esnek üretim sistemleri, belirli bir stil, boyut ve işlem aralığında parça veya ürün üretimi amacıyla tasarlanmıştır. Diğer bir ifadeyle, EÜS yalnızca belirli bir parça ailesi veya sınırlı sayıda parça ailesini işleyebilir. “Esnek Otomatik Üretim Sistemi” terimi, bu teknoloji için daha doğru bir ifade olabilir. “Otomatik” terimi, bu sistemi insan gücüyle çalışan ancak otomatik olmayan GT makine hücrelerinden ayırırken, “esnek”terimi ise bu sistemi, son derece otomatikleştirilmiş fakat esnek olmayan geleneksel transfer hatlarından ayırmaktadır.

Her EÜS belirli bir uygulama, yani belirli bir parça ve süreç ailesi için tasarlanmıştır (Buzacott ve Yao, 1986: 995; Saren ve Tiberiu, 2016: 115). Bu nedenle, her EÜS özel olarak tasarlanmış ve benzersiz bir şekilde konumlandırılmıştır. Esnek üretim sistemlerini sınıflandırmanın en temel iki yolu makine sayısı ve esneklik düzeyidir.

Tek makineli bir hücre, gözetimsiz çalışma için bir parça depolama sistemi ile birleştirilmiş bir CNC işleme merkezinden oluşur. Örnek bir CNC işleme merkezi Şekil 1.3’de gösterilmiştir.

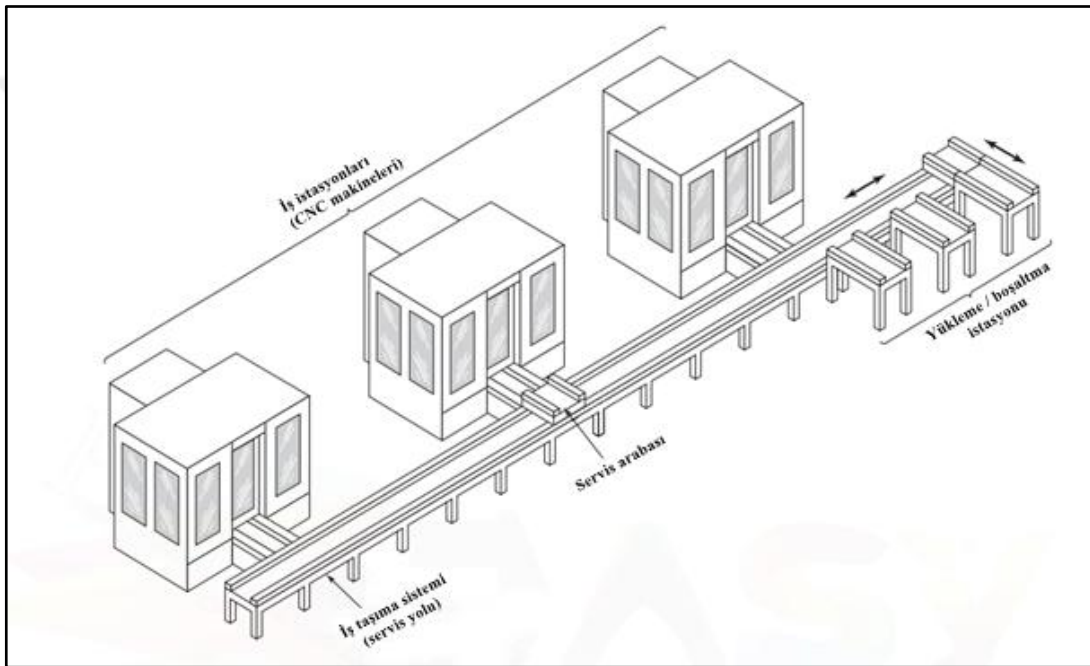


Şekil 1.3. Bir CNC İşleme Merkezi ve Parça Saklama Biriminden Oluşan Tek Makine Hücresi

Kaynak: (Groover, 2016: 690).

Şekil 1.3'e göre; bitmiş parçalar parça depolama ünitesinden periyodik olarak boşaltılır ve ham iş parçalarına yüklenir. Hücre, parti modunda, esnek modda veya ikisinin bir kombinasyonunda çalışacak şekilde tasarlanabilir.

Esnek bir üretim hücresi genellikle iki veya üç işleme istasyonu (çoğunlukla CNC işleme merkezleri veya torna tezgâhları) ve bir parça taşıma ünitesinden oluşur. Bu örnek Şekil 1.4'deki gibi gösterilebilir.



Şekil 1.4.Üç Özdeş İşleme İstasyonundan (CNC İşleme Merkezleri), Bir Yükleme / Boşaltma İstasyonundan ve Bir Parça İşleme Sisteminden Oluşan Esnek Bir Üretim Hücresi

Kaynak: (Groover, 2016: 690).

Şekil 1.4, CNC makinelerinin bulunduğu örnek bir üretim hattı otomasyon sistemi gösterilmektedir. Sistem, yükleme/boşaltma istasyonundan iş parçalarını alarak CNC makinelerine taşıyan bir servis arabası ve işleme tamamlandıktan sonra parçaları geri taşıyan bir iş taşıma sisteminden oluşmaktadır. Bu yapı, üretim sürecini otomatikleştirerek verimliliği artırmayı amaçlamaktadır.

Parça transfer sistemi yükleme ve boşaltma istasyonu ile bağlantılıdır; genellikle sadece sınırlı bir depolama alanı da içerir. Öte yandan, esnek bir üretim sisteminde, ortak bir mekanik işleme sistemi ile birbirine bağlanan ve ayrı bilgisayarlarla elektronik olarak iletişim kuran dört işleme istasyonu daha vardır.

Esnek üretim sistemlerini (EÜS) sınıflandırmanın diğer bir yolu da esneklik kabiliyetlerinin derecesidir. Bu çerçevede, Önceden Düzenlenmiş ve Rastgele Sıralı sistemler olmak üzere iki farklı esneklik kategorisi dikkate alınır. Önceden düzenlenmiş bir EÜS, belirli bir parça ailesini üretmek üzere tasarlanmıştır. Parçanın bileşimi önceden belirlenir. Parça ailesindeki parçalar arasındaki ortaklık, fiziksel benzerlikten ziyade ürüne dayalı olabilir. Ürün konseptinin doğası bu tür bir sistemin tasarımını etkilemiş ve üretim verimliliğini kolaylaştırmak için belirli bir dereceye kadar sürece özgüllüğü kabul etmeye karar verilmiştir. Bu tür bir uzmanlaşma, önceden belirlenen diziler kullanılarak yapılan metodik sıkıştırma gibi doğrudan uygulama öncesinde çözülen on-line montajları içermemektedir. Rastgele sıralı bir EÜS ise şu koşulların varlığında optimal bir seçenek teşkil eder(Groover, 2016; Sellitto ve Mancio, 2019):

1. Parça ailesinin büyük olması,
2. Parça konfigürasyonlarının birbirinden belirgin şekilde farklı olması,
3. Mevcut parça tasarımlarına ek olarak sisteme yeni parça tasarımlarının gelecek olması ve ilgili mühendislik değişikliklerinin yapılması gerekecek olması
4. Üretim programının günlük olarak değişebilecek olması. Bu tür esneklik gerektiren durumlarda, rastgele sıralı bir EÜS, önceden düzenlenmiş bir EÜS'den önemli ölçüde daha esnek olmalıdır.

1.3.2.3.Yalın Üretim Sistemi

Bu yaklaşım, üreticilerin yalın üretim tekniklerini uygulamaya koymalarına yardımcı olmak için tasarlanmıştır. Ayrıca üretim süresinin kısaltılmasının yanı sıra operasyonel alanın, işçi ve ekipman sayısının azaltılması da amaçlanmaktadır. Yalın üretim de müşterilerin taleplerini karşılamayı ve beklediklerini en iyi şekilde sunmayı amaçlar. “Yalın üretim” adı 1980'lerde Massachusetts Institute of Technology (MIT) Uluslararası Motorlu Araç Programı araştırmacıları tarafından Japonya'daki Toyota Motor Company tarafından geliştirilen üretim yöntemlerini tanımlamak için ortaya atılmıştır. Toyota, ABD ve Batı Avrupa'da kullanılan seri üretim tekniklerinden oldukça farklı bir üretim sistemi yaratmıştır. Seri üretim ile yalın üretim arasındaki temel farklar

Tablo 1.3'te gösterilmektedir(Sundar vd., 2014: 1877).Yalın ve seri üretim sistemleri arasındaki temel farklılıkların daha iyi anlaşılabilmesi için Tablo 1.3 hazırlanmıştır. Bu tablo, her iki üretim sisteminin özelliklerini karşılaştırarak, üretim süreçlerindeki yaklaşımların ve önceliklerin nasıl farklılık gösterdiğini açıkça ortaya koymaktadır.

Tablo 1.3.Yalın ve Seri Üretim Karşılaştırması

Yalın Üretim	Seri Üretim
• Envanter tamponları: Minimum israf	• Yüksek Envanter: Her ihtimale karşı envanter stokları
• Tam zamanında (Just-in-Time) teslimatlar	• Tam zamanında teslimatlar
• Minimum envanter: Gereksiz stok yok	• Yüksek Envanter: Üretim hatalarını telafi etmek için fazla stok
• Kalite Odaklı: Mükemmel ilk seferde kalite	• Kabul edilebilir kalite seviyesi: Belirlenen AQL seviyeleri ile çalışır
• Ekip çalışması: Çalışan ekipleri	• Bireysel İş Gücü: Taylor anlayışı (işçilerin ne yapacaklarını belirten yönetim)
• Sürekli İyileştirme (Kaizen): Bozulmadan düzeltilmesi	• Statik Süreçler: Bozulma durumunda iyileştirme yapılır
• Esnek Üretim Sistemleri: Hızlı değişim yeteneği	• Sabit Üretim Sistemleri: Esnek olmayan, belirli bir ürün için optimize edilmiş sistemler
• Müşteri Talebine Göre Üretim: Talebe dayalı üretim planlaması	• Tahmin Bazlı Üretim: Talep tahminlerine dayanarak üretim yapılır
• Çalışan Katılımı: Karar süreçlerine çalışanların dahil edilmesi	• Maksimum Verimlilik: Çalışanlar verimliliğe odaklanır ancak sürece dahil edilmez
• Değer Akış Haritalama: İsrafın minimize edilmesi için süreçlerin sürekli gözden geçirilmesi	• Ürün Akışı Odaklılık: Ürünlerin mümkün olan en yüksek hızda üretilmesi amaçlanır
• Hata Önleme (Poka-Yoke): Üretim hatalarının önlenmesi için süreç iyileştirmeleri	• Hata Yönetimi: Üretim sırasında hatalar tespit edilip düzeltilir, ancak hatalar önceden engellenmez

Kaynak: (Sundar vd., 2014: 1877).

Tablo 1.3, yalın üretim ve seri üretim sistemlerini temel kriterler üzerinden karşılaştırarak aralarındaki farklılıkları ortaya koymaktadır. Yalın üretim, minimum israf, sürekli iyileştirme (Kaizen) ve esnek üretim sistemlerine odaklanırken, seri üretim

yüksek envanter, statik süreçler ve ürün akış hızı gibi faktörlere vurgu yapmaktadır. Tablo, her iki üretim yaklaşımının stok yönetimi, kalite, ekip çalışması ve hata önleme gibi unsurlardaki farklı önceliklerini net bir şekilde göstermektedir. Bu karşılaştırma, işletmelerin hangi üretim modelinin ihtiyaçlarına daha uygun olduğunu değerlendirmelerine yardımcı olmayı amaçlamaktadır.

Toyota Üretim Sistemi, 1950'lerden itibaren Japonya'nın İkinci Dünya Savaşı sonrası ekonomik koşullarına uyum sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Bu dönemin zorlukları arasında şunlar yer almaktadır:

1. **Küçük Otomotiv Pazarı:** Japonya, ABD ve Avrupa'ya kıyasla çok daha küçük bir otomotiv pazarına sahip olmuştur. Bu, daha küçük üretim partileri ve daha esnek üretim süreçleri gerektirmiştir.

2. **Sınırlı Japon Sermayesi:** Yeni tesisler ve ekipmanlar için sınırlı sermaye bulundurmıştır. Bu, Toyota'nın mevcut kaynakları en verimli şekilde kullanarak yüksek kaliteli ürünler üretmesini zorunlu kılmıştır.

3. **Rekabetçi Dış Dünya:** Birçok yerleşik otomobil şirketinin olduğu küresel pazarda rekabet etmek, Toyota'yı daha verimli ve esnek üretim yöntemleri geliştirmeye itmiştir.

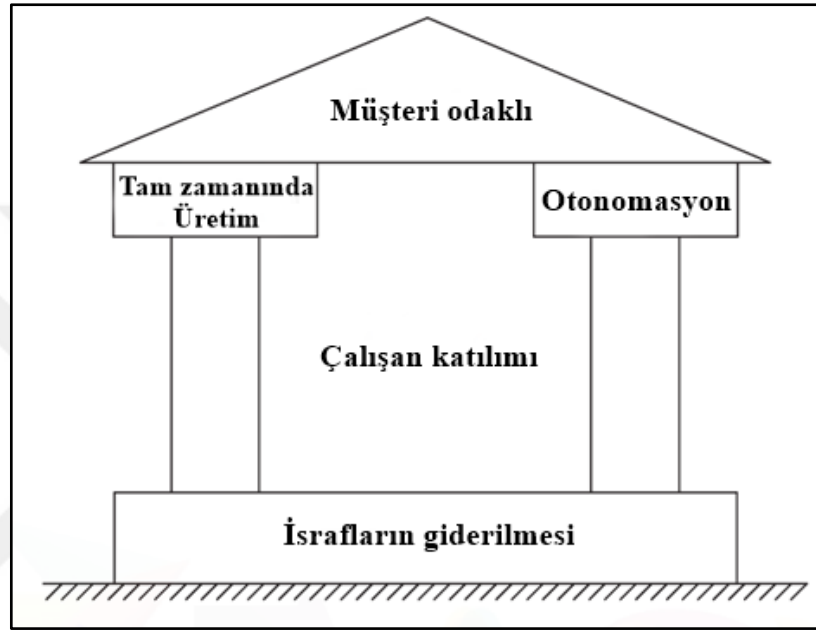
Bu zorlukların üstesinden gelmek için, Toyota üretim sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem, düşük stok seviyeleri, küçük üretim partileri, kısa teslim süreleri ve kalite sorunlarını minimize etme yeteneği sunan bir yapıdır. Toyota üretim sisteminin gelişiminde önemli bir rol oynayan Toyota Başkan Yardımcısı Taiichi Ohno, bu sistemi, üretim operasyonlarındaki israfı ortadan kaldırma hedefi doğrultusunda şekillendirmiştir.

Yalın üretim sisteminin temel bileşenleri, Şekil 1.5'te gösterilen bir yapı olarak görselleştirilebilir. Bu yapının temelinde Toyota sisteminin esası yer alır. Bu sistem, iki ana sütunla desteklenir:

1. **Tam Zamanında Üretim:** Gerektiği anda gerekli miktarda üretim yaparak envanter maliyetlerini düşürmek.

2. **Otonomi (Jidoka):** Otomasyon süreçlerine insan dokunuşunu entegre ederek kalite kontrolü sağlamak.

Bu iki sütun, müşteri odaklılığı sembolize eden bir çatıyı destekler. Yapının içerisinde, motive olmuş ve sürekli iyileştirme (Kaizen) için çabalayan çalışanlar yer alır. Yalın üretim, müşteri memnuniyetini en üst düzeye çıkarmayı hedefler. Yalın üretim sisteminin bu yapısı, Şekil 1.5'teki gibi temsil edilebilir. Bu sistemin, Toyota'nın küresel otomotiv endüstrisinde lider konumunu sürdürmesine büyük katkı sağladığı bilinmektedir.



Şekil 1.5.Yalın Bir Üretim Sisteminin Yapısı

Kaynak: (Krijnen, 2007).

Tablo 1.4, yalın üretim yapısında tam zamanında üretimi, çalışan katılımını ve özerkliği oluşturan unsurları detaylı bir şekilde tanımlar.

Tablo 1.4.Yalın Üretim Yapısında Tam Zamanında Üretim, İşçi Katılımı ve Otonomasyon Unsurları

Tam Zamanında Üretim	Çalışanlarının Katılımı	Otonomasyon
- Kanbanları kullanarak çekme üretim kontrol sistemi kurulumu - Daha küçük parti boyutları için kurulum süresinin kısaltılması - Üretim seviyelendirme - Zamanında teslimatlar - Sıfır Kusur	- Sürekli gelişme - Kalite Çemberleri - Görsel yönetim 5S sistemi - Standartlaştırılmış çalışma prosedürleri - İşçilerin toplam üretkenlik bakımından katılımı	- Bir şeyler ters gittiğinde süreci durdurulması (örneğin, bir kusur oluştuğunda) - Aşırı üretimin önlenmesi - Hata önleme ve israfı önlenmesi - Güvenilir ekipman için toplam verimli bakım

-
- Esnek çalışanlar

Kaynak: (Ohno, 2019).

Tablo 1.4’de tanımlanan bu unsurlar, yalın üretim sisteminin temel prensiplerini anlamak ve uygulamak için gerekli olan kavramları içerir. Tablo, üretim süreçlerinin etkinliğini artırmak ve israfları en aza indirmek için çalışan katılımının önemine, üretim süreçlerinin zamanında gerçekleşmesine ve süreçlerin otonom bir şekilde yönetilmesine odaklanır. Böylece, yalın üretim sisteminin sürdürülebilirliği ve müşteri odaklı yapısı daha net bir şekilde ortaya konmaktadır.

Yalın üretimin temelinde israfların ortadan kaldırılması vardır. Bundan dolayı 7 temel israf şu şekilde tanımlanabilir (Ohno, 1988):

1. Arızalı parçaların üretimi.
2. Aşırı üretim, ihtiyaç duyulan öğelerin sayısından fazla üretim.
3. Aşırı stoklar.
4. Gereksiz işlem adımları.
5. İnsanların gereksiz yere hareket etmesi.
6. Malzemelerin gereksiz yere taşınması.
7. İşçiler gereksiz beklemesi.

Tam Zamanında (JIT) üretim sistemi, işletme sermayesi gereksinimlerini azaltmak için geliştirilmiş bir yaklaşımdır. Toyota Üretim Sistemi’nde de vurgulandığı gibi, fazla (WIP - Süreçteki İş), israf olarak görülür ve ortadan kaldırılmalıdır. Gerçek bir JIT sistemi, tüm bileşenlerin süreçler arasında kesintisiz akışını sağlayarak, her parçanın yalnızca gerektiği anda ve miktarda üretilmesini hedefler. Bu kontrol seviyesi, (WIP) seviyelerini ve ekipmanların kapladığı alanı azaltır. Toyota’da bu disiplin hem iç üretim süreçlerinde hem de tedarikçi teslimatlarında uygulanmaktadır (Ohno, 1988; Liker, 2004). Ancak, JIT’in başarılı olması için üretim kontrol teknikleri, kısa kurulum süreleri ve güvenilir bir üretim sistemi gibi belirli koşulların sağlanması gereklidir (Womack ve Jones, 1996; Monden, 1998).

Üretim kontrolünde çekme sistemi, Tam Zamanında Üretim sistemlerinin temel bir bileşeni olarak, üretim ve dağıtım talimatlarının alt istasyonlardan parça kullanım oranlarına göre belirlenerek bir önceki istasyona iletildiği sistematik bir yaklaşımı temsil etmektedir. Bu sistemde, bir istasyondaki parça envanteri kritik seviyenin altına düştüğünde, yukarı akış istasyonlarına Kanban mekanizması aracılığıyla stok ikmal sinyali gönderilmektedir. Yukarı akış istasyonları, bu talebe yanıt olarak yalnızca gerekli miktarda üretim gerçekleştirmekte, böylece üretim hattı boyunca optimum bir “çekme” dinamiği oluşturulmaktadır.

Buna karşılık, “itme” sistemleri, aşağı akış istasyonlarının anlık talepleri gözetilmeksizin, süreç içerisindeki her istasyonda bileşen üretimini öngörmektedir. Bu durum, üretim hattı boyunca aşırı stok birikimine ve kaynak kullanımında verimsizliğe yol açabilmektedir. Malzeme İhtiyaç Planlaması (MRP) sistemleri, tipik bir “itme” yaklaşımını temsil etmekte olup, bu sistemlerde iş istasyonu tıkanıklıkları genellikle aşırı üretimden kaynaklanmaktadır (Sugimori vd., 1977; Liker, 2004; Naufal vd., 2012).

Kanban Sistemi, Toyota'nın üretim sürecinde uyguladığı çekme sisteminin operasyonel bir tezahürü olarak ortaya çıkmaktadır. Japonca'da “sinyal kartı” anlamına gelen Kanban (kan: kart, ban: sinyal), üretim ve lojistik süreçlerinin koordinasyonunu iki temel sinyal mekanizması üzerinden gerçekleştirmektedir. Bunlardan ilki olan Üretim Kanbanı (P-kanban), yukarı akış istasyonlarına spesifik parça miktarlarının üretimi için yetkilendirme sağlarken, Nakliye Kanbanı (T-kanban) üretilen parçaların aşağı akış istasyonlarına transferini düzenleyen lojistik kontrol sistemi olarak işlev görmektedir. Modern endüstriyel uygulamalarda Kanban sistemi, süreç optimizasyonu ve veri doğruluğunun artırılması amacıyla barkod sistemleri ve otomatik veri toplama teknolojileri ile entegre edilmektedir (Naufal vd., 2012; Adnan vd., 2013).

Otonomasyon, Toyota Üretim Sistemi'nde “insan dokunuşuyla otomasyon” olarak kavramsallaştırılmış olup, konvansiyonel otomasyon kavramının evrimleşmiş bir formunu temsil etmektedir. Bu yaklaşımda üretim sistemleri, normal operasyon koşullarında otonom çalışma kabiliyetine sahip olmakla birlikte, kalite sapması durumunda otomatik durdurma mekanizmalarıyla donatılmıştır. Sistemler ayrıca, hata önleyici mekanizmalarla entegre tasarım prensipleriyle karakterize edilmektedir. Bu yapılanma, üretim süreçlerinde insan gözetiminin etkinliğini maksimize ederken, operasyonel hataların minimize edilmesini sağlamaktadır (Ohno, 1988; Liker, 2004).

Yalın üretim metodolojisinde çalışan katılımı, üç temel bileşen üzerinden yapılandırılmaktadır. Bu bileşenlerden ilki olan sürekli iyileştirme (Kaizen), operasyonel mükemmelliğin sürdürülebilir gelişimini hedeflemektedir. Görsel yönetim, süreç performansının etkin monitorizasyonunu sağlarken, (5S) uygulamaları standartlaştırılmış çalışma ortamı organizasyonunu temin etmektedir. Bu üç bileşenin entegrasyonu, çalışanların üretim süreçlerine aktif katılımını ve sürekli gelişim kültürünün yerleşmesini desteklemektedir.

✓ **Sürekli İyileştirme (Kaizen):** Yalın üretimde “Kaizen” terimi, Japonca’da üretim operasyonlarının sürekli olarak iyileştirilmesi anlamına gelir. Kaizen, genellikle işyerinde belirli sorunları çözmek amacıyla organize edilen çalışan ekipleri aracılığıyla uygulanır; bu ekipler bazen “kalite çemberleri” olarak adlandırılır. Bu ekipler sadece kalite sorunlarını değil, aynı zamanda verimlilik, maliyet, güvenlik, bakım ve diğer ilgili alanlardaki sorunları da ele alır. “Kaizen çemberi” terimi, ekip faaliyetlerinin daha geniş bir konu yelpazesini kapsadığını ifade etmek için de kullanılır (Kumar vd., 2018: 1730).

✓ **Görsel Yönetim:** Görsel yönetimin temel ilkesi, iş durumunun sadece gözlemlerle anlaşılabilmesidir. Eğer bir şey yanlışsa, bu hemen fark edilmelidir, böylece düzeltici önlemler hızla alınabilir (Filip vd., 2015: 3-6).

✓ **5S Uygulamaları:** Çalışanların görsel yönetim süreçlerine dahil edilmesinin bir yolu, işyerinde düzeni sağlamak için kullanılan 5S sistemidir. 5S, Japonca beş kelimenin baş harflerinden oluşur ve iş yerinde temiz, düzenli ve görünür bir çalışma ortamı yaratmak için uygulanan adımları ifade eder (Filip vd., 2015: 3-6). Bu adımlar şu şekilde tanımlanabilir:

1. Ayıklama (Seiri): İş yerindeki varlıkların sınıflandırılması ve kullanılmayan öğelerin elden çıkarılması.

2. Sıralama (Seiton): Kullanım sıklığına göre kalan öğelerin düzenlenmesi ve en sık ihtiyaç duyulan öğelere kolay erişim sağlanması.

3. Parlatma (Seiso): Çalışma alanının temizlenmesi ve düzenli tutulması.

4. Standartlaştırma (Seiketsu): İş yerindeki öğeler için standart konumların belirlenmesi ve belgelenmesi.

5. Öz Disiplin (Shitsuke): Önceki adımlarda elde edilen kazanımları sürdürmek için bir plan oluşturulması ve ekip üyelerine temiz, düzenli bir çalışma ortamı sağlamak için sorumluluk verilmesi.

1.3.3. Grup Teknolojisi ve Hücresel Üretim Sistemleri

Grup Teknolojisi (GT), belirli bir ailenin tüm üyelerinin daha verimli bir şekilde işlenebilmesi için benzer parçaların tasarım ve üretim süreci özelliklerine göre gruplandırıldığı bir üretim felsefesidir. Bu felsefe, parçaların tasarım veya üretim özelliklerine göre sıralanmasına dayanır: Yaygın olarak tanımlanan terim parça akışıdır. Örneğin, 6000 farklı parça üreten bir tesis, bunları tipik olarak 40 veya 50 ailede gruplandıracaktır.

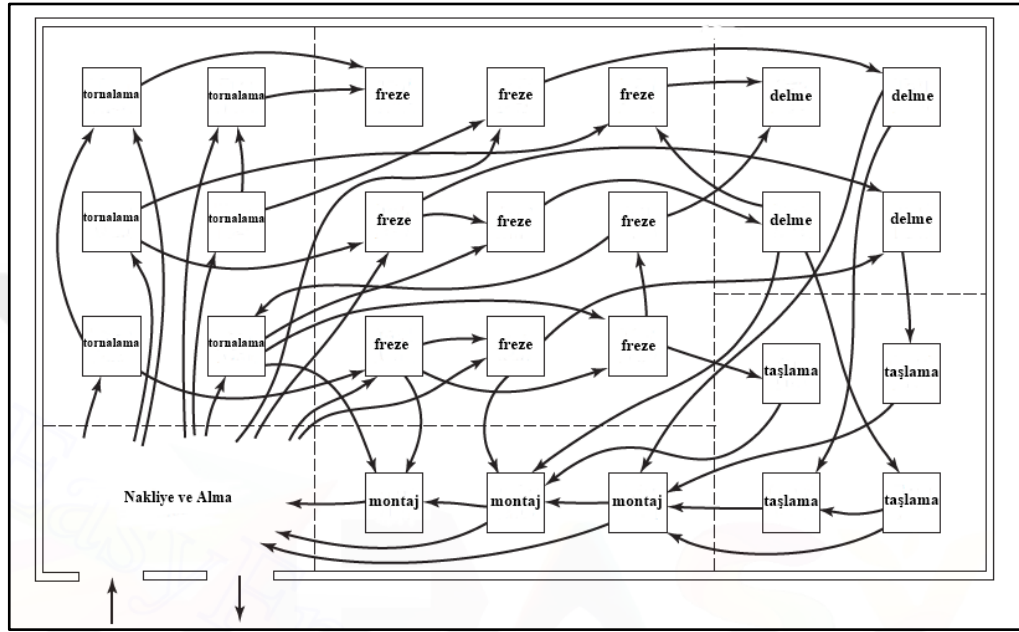
GT, üretim sürelerini kısaltarak, üretim akışındaki hareket miktarını azaltarak envanterin azalmasını ve kalite kontrol süreçlerinin iyileşmesini ve maliyet tasarrufusağlar. GT, kurulum süresini azalttığından dolayı şirketler müşteri taleplerine hızla yanıt verebilir. Grup teknolojisi ve hücresel üretim şirketlere birçok avantaj daha sağlar(Hosseinabad ve Zaman, 2020: 5). Bu avantajlar şu şekilde sıralanabilir:

- Aletlerin, işleme işçiliğinin ve kurulumların standartlaştırılmasını destekler.
- (WIP) seviyeleri azalır.
- Basitleştirilmiş süreç planlama ve üretim çizelgeleme, üreticilere tesislerinin gerçekte neler yapabileceğine dair açık bir çerçeve sunmaktadır.
- Kurulumda daha kısa teslim süreleri, üretim teslimat siparişlerini geri almak için daha az zaman harcanmasına neden olmaktadır. Bu sayede, daha mutlu çalışanlar, daha fazla memnuniyetle daha kaliteli süreçler ortaya koymaktadır.

Geleneksel bir iş atölyesinden teknoloji odaklı bir üretim sistemine geçişte karşılaşılan en büyük zorluklardan biri, parça ailelerinin doğru bir şekilde tanımlanmasıdır. Bu sorunun çözümüne yönelik üç temel yaklaşım bulunmaktadır: sezgisel gruptlama, parça sınıflandırma ve kodlama ile üretim süreci analizi. Sezgisel gruptlama, görsel inceleme yöntemi olarak da bilinir ve en az karmaşık, dolayısıyla en düşük maliyetli yöntemdir. Bu yöntem, sistematik ve analitik yaklaşımların getirdiği titizlikten yoksun olmasına rağmen, mühendislerin ve çalışanların uzmanlık bilgisine dayanarak benzer şekle ve özelliklere sahip parçaların gruplandırılmasını sağlar. Bu

nedenle, firmalar tarafından parça ailelerini belirlemek için en yaygın kullanılan yöntemlerden biri olma özelliği taşımaktadır.

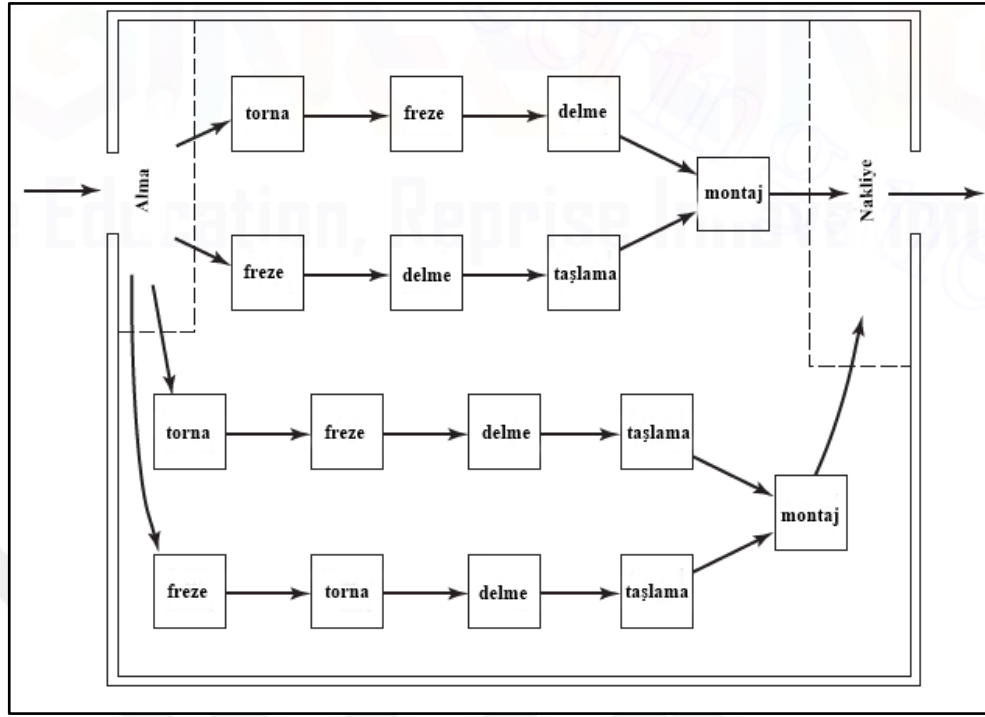
Şekil 1.6'da akış tipi tesis yerleşiminde departmanlar arası iş akışı ve makine organizasyonu gösterilmektedir:



Şekil 1.6.AkışTipi Tesis Yerleşimi(oklar tesisteki iş akışını ve kesik çizgiler makinelerin departmanlara ayrıldığını gösterir)

Kaynak: (Groover, 2016: 500).

Şekil 1.6'da Akış tipi tesis yerleşiminde, departmanlar arasındaki iş akışı ve makinelerin departmanlara ayrılması sistematik bir şekilde düzenlenmiştir. Bu yerleşim modelinde, operasyonlar arasındaki malzeme akışı doğrusal bir hat boyunca ilerlemekte olup, departmanlar arası geçişler kesintisiz bir süreç oluşturmaktadır. Makinelerin departmanlara göre segmentasyonu, üretim sürecinin optimizasyonunu ve kaynakların etkin kullanımını desteklemektedir.Şekil 1.7'de de grup teknolojisi düzeninde makine hücrelerindeki iş akışının organizasyonu sunulmaktadır:



Şekil 1.7.Grup Teknolojisi Düzeni (oklar makine hücrelerindeki iş akışını gösterir.)

Kaynak: (Groover, 2016: 502).

Şekil 1.7’de Grup teknolojisi düzeninde, makine hücreleri içerisindeki iş akışı, parça ailelerinin üretim gereksinimlerine göre optimize edilmiş bir yapı sergilemektedir. Bu konfigürasyonda, benzer üretim karakteristiklerine sahip parçaların işlenmesi için tasarlanmış makine grupları, hücresel bir düzen içerisinde konumlandırılmıştır. Hücreler arası iş akışının minimize edilmesi ve hücre içi operasyonların maksimize edilmesi prensibi ile sistem verimliliğinin artırılması hedeflenmektedir.

Parça aileleri oluşturmak için benzerlikleri tanımlayan bir yöntem olarak parçaların sınıflandırılması ve kodlanması zaman alıcıdır. Parçaların sınıflandırılması ve kodlanması aşamasında tasarım ve üretim özelliklerini bütünleştiren bir kod sistemi kurulur. Daha sonra parçalar bu sistemde sınıflandırılır. Bu yöntem üretim sürecini daha düzenli hale getirebilir (Das ve Khumawala, 1986: 200-205).

Üretim akış analizi, hangi parça ailelerinin bulunduğunu ve bunlar için en uygun makine hücrelerinin hangileri olduğunu belirlemeye yönelik bir prosedürdür. Bu analizde parça çizimleri yerine üretim rota sayfalarından alınan bilgiler kullanılır. Üretim akış analizi, benzer işleme yönlerine sahip iş parçalarını parça aileleri olarak

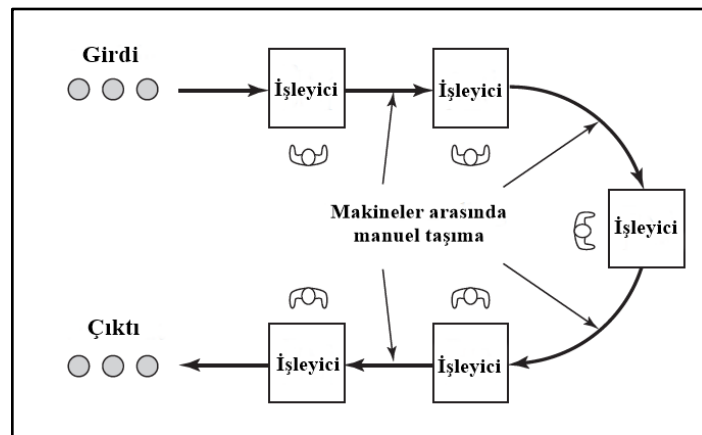
sınıflandırmak ve bu aileler için rasyonel makine hücreleri oluşturmak için kullanılır (Das ve Khumawala, 1986: 200-205).

1.3.4. Hücresel Üretim

Hücresel üretim veya hücresel imalat, benzer parça ailelerinin üretimine odaklanan ve grup teknolojisi prensiplerini uygulayan bir üretim organizasyon yöntemidir. Bu sistem, kurulum süreleri, işlem süreleri ve bekleme sürelerini kısaltmanın yanı sıra parti boyutunu azaltarak üretimdeki teslim sürelerini optimize etmeyi amaçlar. Buna ek olarak, (WIP) envanterini azaltabilir (Vinita vd., 2023; Jayaprakash vd., 2023). Her hücrenin daha az ürünle kendini tanımlaması, değişen süreçlerin daha az zahmetli olmasını sağlarken, parçalar arasındaki benzerlik MRP hesaplamasını kolaylaştırarak operasyon planlamasının sorunsuz yapılmasına yardımcı olur (Das ve Khumawala, 1986: 200-205).

Makine hücrelerinin organizasyonu, hücre performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Grup teknolojisinde yaygın olarak kullanılan dört temel hücre konfigürasyonu bulunmaktadır: tek makine hücresi, manuel işleme grubu makine hücresi, yarı entegre işleme grubu makine hücresi ve esnek üretim hücresi (Hosseinabad ve Zaman, 2020: 5).

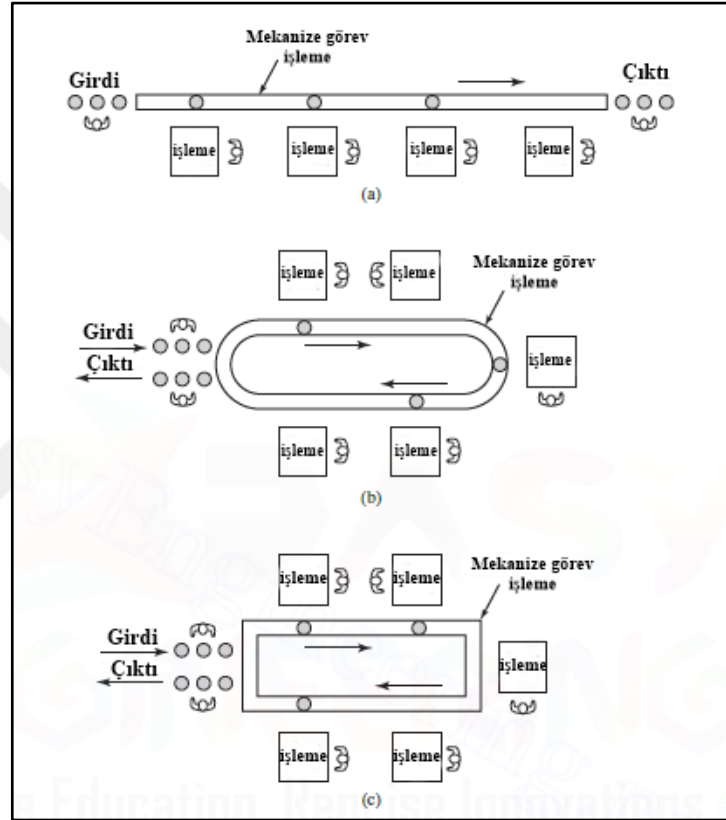
Manuel işleme grubu makine hücresi tipik bir örneği Şekil 1.8'de gösterilmektedir. Bu şekilde görüldüğü üzere, U şeklinde düzenlenen makineler arasındaki iş akışı oklarla belirtilmiştir. U şeklindeki tasarım, operatörlerin makineler arasında etkin hareket etmesini sağlamak ve manuel taşıma işlemlerini optimize etmektedir.



Şekil 1.8. Makineler Arasında Elle Kullanılan Makine Hücresi (U şeklinde bir makine düzeni gösterilmektedir, oklar iş akışını verir.)

Kaynak: (Groover, 2016: 505).

Yarı entegre işleme grubu makine hücrelerinin üç farklı konfigürasyonu Şekil 1.9'da sunulmaktadır. Bu düzenlemeler sırasıyla (a) sıralı yerleşim, (b) döngü düzeni ve (c) dikdörtgen düzen olarak gösterilmiştir. Her bir düzende mekanize görev işleme sistemleri kullanılmakta ve iş akışı oklar ile belirtilmektedir. Bu düzenlemeler, farklı üretim ihtiyaçlarına ve alan kısıtlamalarına göre tercih edilebilmektedir.



Şekil 1.9. Yarı Entegre İşleme Sahip Makine Hücreleri

((a) sıralı yerleşim,(b) döngü düzeni ve (c) dikdörtgen düzen Oklar iş akışını gösterir)

Kaynak: (Groover, 2016: 506).

Üretime yönelik bir yaklaşım olarak hücresel üretim, parçaların benzer işleme ihtiyaçlarına göre aileler halinde gruplandırılmasını ve bu aileleri üreten makinelerin üretim hücrelerinde organize edilmesini sağlar. Bir parça ailesi, parçaların lojistik açıdan birlikte üretilmelerini anlamlı kılacak kadar ortak özellikleri (geometri, boyut veya üretim süreç gereksinimleri) paylaşması durumunda oluşur. Üretim hücreleri,

birbirlerine yakın konumlandırılmış ve tek bir parça ailesinin üretiminde uzmanlaşmış makine gruplarından oluşur (Uzunosmanoglu vd., 2023; Elaskari ve Venkatadri, 2023).

Hücresele Üretim Sisteminin temel ilkeleri, karmaşık bir üretim tesisini her biri belirli bir parça ailesini üretmeye adanmış çeşitli makine gruplarına veya hücrelere ayırmayı içerir. Bu düzenleme sayesinde, her bir parça tipi ideal olarak tek bir hücrede üretilmekte, bu da sadece malzeme akışını kolaylaştırmakla kalmayıp aynı zamanda programlamayı da basitleştirmektedir. Ayrıca, hücresele üretim sistemlerinin kullanımı üretim planlama ve kontrol görevlerini önemli ölçüde azaltmaktadır.

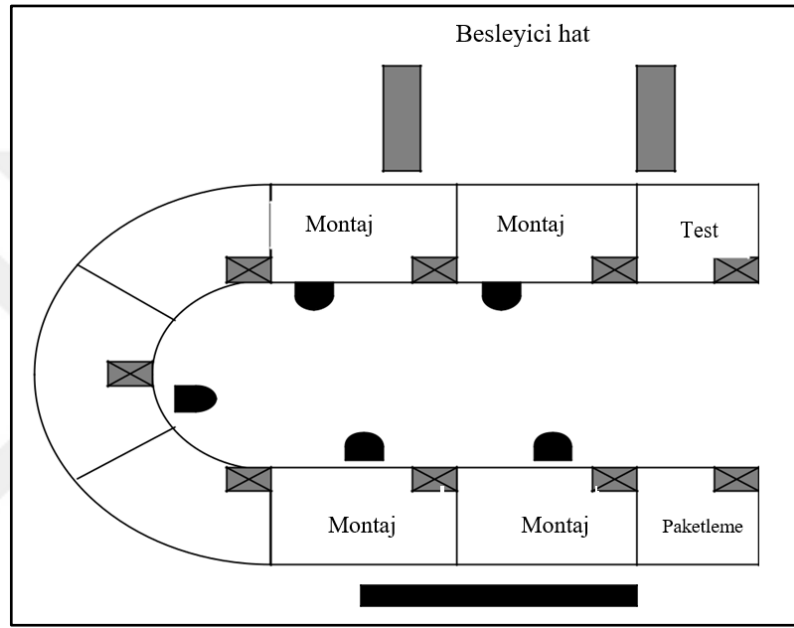
İşyerinin hücresele üretim sistemlerine dönüştürülmesi, üretim süreçlerinde önemli avantajlar sağlar. Parçaların daha kısa mesafeler kat etmesi, zemin alanı gereksinimlerinin azalması ve daha az makine kullanılması bu avantajlardan bazılarıdır. Makine kurulum süreleri kısalmış ve ailedeki diğer parçalara benzer parça tipleri değişen üretim koşullarına daha hızlı yanıt verilmesini sağlar. Bunun aksine, geleneksel bir atölyede her bir parça tipinin tüm atölye alanından geçmesi gerekebilir, bu da üretim planlamasını ve malzeme kontrolünü zorlaştırır. İş önceliklerinin belirlenmesi de daha karmaşık hale gelir ve sürekli iş bulunmasını sağlamak için büyük miktarlarda envanter tutulması gerekir (Black ve Hunter, 2003).

Hücresele Üretim, hem iş atölyelerinin (çok çeşitli ürünlerin üretiminde esneklik) hem de akış hatlarının (verimli akış ve yüksek üretim oranları) avantajlarını bir araya getirir. HÜ'de makineler birbirlerine yakın konumlandırılır ve belirli parça ailelerine tahsis edilir. Bu düzen, bir akış hattındaki benzer akış hızlarının elde edilmesini sağlarken, ekipman temeli olarak genel amaçlı makine ve ekipmanlar kullanıldığında, yeni ürün tasarımlarını ve üretim hacmini minimum maliyet ve zamanla karşılamak için makinenin konfigürasyonunda minimal değişiklikler yapılabilir. Bu özellik, çeşitli ürünlerin üretilmesinde önemli bir esneklik sunmaktadır.

Bir hücre çoğunlukla ürünün her seferinde bir parça olmak üzere saat yönünün tersine hareket ettiği U biçiminde düzenlenebilir. Bu “tek parça akış” tekniği, döngü süresini ve değişim sürelerini azaltma potansiyeline sahiptir. Hücrede kullanılan makineler genellikle bir işlem döngüsünü gözetimsiz olarak gerçekleştirebilen ve işlem bittiğinde otomatik olarak kapanabilen tek döngülü otomatik makinelerdir (Defersha ve Chen, 2006). Ancak hücresele üretim düzeninde, ürün akışının düzenlendiği bir sistemde, makinelerden birinin arızalanması durumunda tüm hücrede üretim durabilir. Bu tür bir

yerleşim biçimi esnekliği artırırken verimliliği en üst düzeye çıkarır, ancak her bir bileşenin sorunsuz çalışması gereksinimi sistemin hassas noktalarından biridir. Makineler arasındaki bu karşılıklı bağımlılık, hücresel üretim sisteminin dikkatli bir şekilde yönetilmesi gerektiğini gösterir.

Şekil 1.10'da gösterilen üretim hücresi örneği, montaj ve test işlemlerinin nasıl organize edildiğini göstermektedir. Bu düzende besleyici hat ve montaj istasyonları bir arada çalışmakta, böylece üretim etkinliği artırılmaktadır.



Şekil 1.10. Üretim Hücresi

Kaynak: (Defersha, ve Chen, 2006).

Şekil 1.10'da modern bir üretim hücresinin yapılanması ve operasyonel düzeni gösterilmektedir. Üretim hücresinin konfigürasyonunda, besleyici hat ve montaj istasyonları entegre bir yapıda tasarlanmış olup, operasyonlar arası senkronizasyon optimize edilmiştir. Bu üretim hücresi tasarımında, montaj işlemleri paralel istasyonlarda gerçekleştirilirken, test ve paketleme operasyonları ardışık olarak konumlandırılmıştır. Sistemin U-şeklindeki yerleşimi, operatör hareketlerinin minimizasyonunu ve iş istasyonları arası malzeme akışının optimizasyonunu sağlamaktadır. Besleyici hattın stratejik konumlandırılması, montaj istasyonlarına kesintisiz malzeme akışını garanti ederken, test ve paketleme istasyonlarının entegrasyonu ile ürün kalite kontrolü ve sevkiyata hazırlık süreçleri etkin bir şekilde yönetilmektedir (Defersha ve Chen, 2006).

Geleneksel düz üretim hatlarındaki aksaklıklar, montaj üretimi yapan işletmeleri daha modern üretim sistemlerine geçmeye teşvik edebilir. Örneğin, Seru Üretim Sistemi, hücresele üretim sistemine benzer şekilde çalışır ve U şeklinde bir üretim düzeni ve tasarımıyla kurulabilir. Bu modern Japon üretim sistemi, hem basit, taşınabilir ve esnek üretim hatlarını kullanır hem de çoklu beceri eğitilmiş işçilerle daha etkili sonuçlar elde eder. Çoklu beceri eğitilmiş işçiler, birden fazla görevi yerine getirebildikleri için, esneklik ve verimliliği artırır.

1.3.4.1.Hücresele Üretim'in Faydaları

Hücresele üretimin işletmelere birçok faydası bulunmaktadır. Bunlar şu şekilde açıklanabilir (Sakran vd., 2017; Wemmerlov ve John, 1997);

Tablo 1.5.Hücresele Üretimin İşletmelere Olan Avantajları

Avantaj	Açıklama
Kurulum süresi azalır	Bir üretim hücresi, benzer şekil ve boyutlardaki parçaları işlemek üzere tasarlandığından, çoğu parça aynı veya benzer tutma cihazlarını kullanabilir. Bu, cihaz ve takım değiştirme sürelerini azaltır.
Parti büyüklükleri azalır	HÜ'de kurulum süreleri önemli ölçüde azaltıldığında, küçük partiler ekonomik hale gelir ve üretim akışı kolaylaşır.
Süreçteki iş (WIP) ve mamul stokları azalır	Daha küçük parti boyutları ve azaltılmış kurulum süreleri, WIP miktarını ve mamul envanterini azaltır. Küçük partiler tam zamanında (JIT) üretimle yönetilebilir.
Malzeme taşıma maliyetleri ve süresi azalır	HÜ'de her parça tek bir hücre içinde tamamen işlendiğinden, parça seyahat süresi ve mesafesi minimuma iner.
Akış süresi azalır	Azalan malzeme taşıma ve kurulum süreleri, genel akış süresini büyük ölçüde kısaltır.
Takım gereksinimleri azalır	Hücrede üretilen parçalar benzer olduğundan, genellikle benzer takım gereksinimleri vardır.
Gerekli alanda azalma	WIP, mamul stokları ve parti büyüklüklerinin azalması, daha az yer gereksinimi sağlar.
Üretim süreleri kısalır	HÜ'de her parça bir makineden diğerine hemen aktarılır, bu da bekleme süresini önemli ölçüde azaltır.
Ürün kalitesi artar	Parçalar tek bir birim olarak küçük bir alanda işlendiği için anında geri bildirim sağlanır ve hatalar hızlıca düzeltilir.
Operasyonların daha iyi genel kontrolü	HÜ'de, üretim tesisi hücrelere ayrıldığından, programlama ve malzeme kontrolü daha kolay hale gelir.

1.3.4.2.Hücresele Üretimin Özellikleri

Hücresele üretimde hücre, üretim için tüm gereklilikleri karşılayan bir operasyon birimidir. Ayrıca, bu hücreler tamamen kendi kendine yeterli ve kendi kendini kontrol edebilen yapıdadır. Bir üretim hücresi aşağıdaki özelliklere sahiptir (Schaller, 1999):

Her hücre belirli bir bileşen veya ürün ailesinden sorumludur. Ürünlerini yapmak için gereken tüm makineler ve diğer tesisler her bir üretim biriminde sağlanmıştır. Her hücre için üretim hedefleri, hücre içindeki ayrı bireylerin kendi üretim hedeflerini belirlemesi yerine, tek bir hücre olarak birleşik bir şekilde belirlenir. Bu hedefler yönetim tarafından hücre ustabaşları veya operatörlere danışılarak belirlenir. Hücreler içinde belirli esnekliklerle donatılmış bir işgücü havuzu bulunmaktadır. Her hücreyi yalnızca bir işçi ekibi kontrol eder. Ustabaşı veya hücre lideri her bir üretim biriminin çalışmasını doğrudan yönetir ve sadece bu grup için çalışır. Her hücre kendi denetimini ve iş planlamasını yapmak zorundadır (Sharma ve Nimawat, 2023).

1.3.4.3. Yalın Hücreyi Geleneksel İş Atölyesinden Daha İyi Yapan İlke

Anahtarları

Yalın hücresel üretim sistemlerinin geleneksel atölye tipi üretime kıyasla sunduğu operasyonel ve stratejik avantajların sistematik bir analizi şu şekilde sunulmuştur (Wu vd., 2007; Sharma ve Nimawat, 2023; Farboodi vd., 2024):

✓ Esneklik:

Güvenilirlik ve istikrar, üretim sistemi için temel niteliklerdir. Üretim hücreleri bu temel gereksinimleri karşılamak üzere tasarlanmıştır. Bu tip hücreler genellikle U şeklinde düzenlenir, böylece çalışanlar makineler arasında rahatça yürüyebilir ve parçaları sorunsuz bir şekilde yükleyip boşaltabilir. Bu düzen verimliliği kolaylaştırır ve israfı azaltmaktadır. Hücrede makineler genellikle otomatik olarak çalışacak şekilde tasarlanır, böylece işçilerin sürekli dikkatine ihtiyaç duymadan kendi döngüleri içinde çalışırlar ve görevlerini tamamladıklarında otomatik olarak kapanırlar. Hücre, komple bir parça veya montajın üretimi için gerekli tüm süreçleri içermektedir. Esnekliğin özü, ürün tasarımında değişiklik yapma imkânı, üretim sisteminin kolayca yeniden yapılandırılması veya birimlerinin ürün karışımı ve hacmindeki değişikliklere uyulanabilirliği gibi birçok yönü kapsamaktadır.

✓ Ayarlı Alternatörler:

- **Kullanım Amacı:** Üretim ve montaj hücrelerinde, ayarlı alternatörler süreç esnekliği, kalite kontrolü, üretim kontrolü ve süreç gecikmesini önlemek amacıyla kullanılmaktadır.

- **Yerleşim:** Bu alternatörler, makineler arasında yer almakta ve işlenmiş, incelenmiş ve bir sonraki işleme hazır olan parçaları tutmaktadır. İnsanlı hücrelerde, bu alternatörler çalışanların parça akışının ters yönünde hareket etmesine olanak tanıyarak işlerin daha verimli yapılmasını sağlamaktadır.

✓ **Ürün Ailesi:**

- **Müşteri Talepleri:** Müşteri taleplerindeki çeşitlilik kapsamında, farklılaşan parti büyüklükleri, renk kombinasyonlarındaki varyasyonlar ve tasarımsal modifikasyonlar, hücresel üretim sistemleri tarafından minimal kurulum süreleriyle karşılanabilmektedir. Bu operasyonel esneklik özelliği, konvansiyonel atölye tipi üretim sistemlerinin yapısal limitasyonları sebebiyle sağlayamadığı önemli bir üstünlük niteliği taşımaktadır.

✓ **Çok İşlevli ve Çok Süreçli İşçiler:**

- **Çok İşlevlilik:** Bir işçinin kurulum, kalite kontrol, önleyici bakım, sorun çözme ve sürekli iyileştirme gibi çeşitli görevleri yerine getirebilmesidir.

- **Çok Süreçlilik:** Bir işçi, birden fazla süreci veya aynı sürecin farklı versiyonlarını yönetebilmektedir. Bu işçiler hem denetim hem de makine bakımı gibi görevleri üstlenerek iş gücünün verimliliğini artırmaktadır.

- **Verimlilik:** Hücre üretim sistemi, “bir kişi/bir makine” şeklindeki geleneksel atölye konseptini ortadan kaldırarak işçi verimliliğini ve kullanımını optimize etmektedir.

Bu faktörler, yalın hücrelerin esneklik, hız ve verimlilik açısından geleneksel atölye kurulumlarına göre daha avantajlı olmasını sağlamaktadır.

1.3.4.4.Hücresel Üretim Düzeni

Hücresel üretim sistemlerinde optimum verimlilik için tercih edilen konfigürasyon, U biçimli düzendir. Bu konfigürasyonda operasyon akışı saat yönünün tersine gerçekleşmekte ve “tek parça akış” prensibi uygulanmaktadır. Söz konusu prensip, çevrim süresi optimizasyonu ve değişim sürelerinin minimizasyonu açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Sistem içerisinde kullanılan otomasyon teknolojisi, gözetimsiz operasyon kabiliyetine sahip tek döngülü otomatik makinelerden oluşur. Bu makineler, programlanmış işlem döngüsünü tamamladıktan sonra otomatik sonlandırma özelliğine sahip olmaktadır (Defersha ve Chen, 2006).

Bununla birlikte, hücresel üretim sistemlerinin entegre yapısı bazı operasyonel riskleri de beraberinde getirmektedir. Özellikle, sistemdeki herhangi bir makinenin arızalanması durumunda, üretim akışının sekteye uğrama ve tüm hücrede üretimin durma olasılığı mevcuttur. Bu yerleşim konfigürasyonu operasyonel esneklik ve maksimum verimlilik sağlarken, sistem bileşenlerinin kesintisiz performansına olan bağımlılık, kritik bir hassasiyet noktası oluşturmaktadır. Makineler arasındaki bu yüksek düzeyde karşılıklı bağımlılık, hücresel üretim sistemlerinin titiz bir yönetim ve kontrol mekanizması gerektirdiğini ortaya koymaktadır.

Geleneksel seri üretim hatlarında karşılaşılan teknik arızalar ve insan kaynaklı performans düşüklükleri, montaj operasyonları gerçekleştiren işletmeleri gelişmiş üretim sistemlerine yönelmeye sevk etmektedir. Bu bağlamda, yenilikçi Japon üretim sistemlerinden biri olan Seru Üretim Sistemi önemli bir alternatif teşkil etmektedir. Seru Üretim Sistemi, hücresel üretim prensiplerini benimserken, U şeklinde üretim konfigürasyonunu da adapte etmektedir. Japon üretim felsefesinin modern bir yansıması olan bu sistem, kompakt ve mobil üretim hatlarının esnekliği ile çok yönlü yetkinliğe sahip operatörlerin etkinliğini birleştirmektedir. Çoklu-fonksiyonel operatörler, çeşitli görevleri yerine getirebilme kapasiteleri sayesinde, sistemin esneklik ve verimlilik parametrelerini optimize etmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında, Seru Üretim Sistemi detaylı bir incelemeye tabi tutulmuştur. İkinci bölümde, sistemin karakteristik özellikleri, hücresel, yalın ve geleneksel üretim sistemleriyle mukayeseli analizi ve literatürdeki konumu kapsamlı bir şekilde ele alınmaktadır.

BÖLÜM 2: SERU ÜRETİM SİSTEMİ

2.1.Seru Üretimin Kökeni

“Seru Seisan” (Seru Üretimi), Japon imalat endüstrisinin geliştirdiği ve “yalın ötesi” (post-lean) olarak kategorize edilen yenilikçi bir üretim yönetimi paradigmasıdır. Sistem, Japonya'daki çeşitli üretim işletmelerinde kayda değer başarılar elde etmiş olmasına rağmen, küresel ölçekte, özellikle Japonya dışındaki üretim işletmeleri ve akademik araştırmacılar arasında henüz yaygın bir kabul görmemiştir (Yu vd., 2014: 776). Sony, Canon, Panasonic (Matsushita), Fujitsu, NEC ve Hitachi gibi Japonya'nın önde gelen teknoloji şirketleri, bu üretim sistemini başarıyla uygulama sürecinden geçirmiş kuruluşlar arasında yer almaktadır (Wu vd., 2018).

Seru üretim sisteminin en dikkat çekici uygulamalarından biri Canon firmasında gerçekleştirilmiştir. Canon'un bu sisteme geçiş süreci ve elde ettiği başarılar, sistemin potansiyelini göstermesi açısından önemli bir örnek teşkil etmektedir. Canon'un Yönetim Kurulu Başkanı ve CEO'su Fujio Mitarai'nin sistem hakkında şu şekilde bir değerlendir yapmıştır (Ying ve Tsai, 2017):

“Canon, Seru Üretim Sisteminin uygulanması sonucunda yüksek performanslı bir organizasyonel yapıya sahip olmuştur”

Taşıyıcı hatların sökülüp Seru üretim sistemine geçilmesiyle, esnek ve verimli bir üretim sürecinin oluşturulmasına olanak tanımıştır. Canon'un bu yeniliği, üretim verimliliğini artırmış ve şirketin pazardaki rekabet gücünü pekiştirmiştir (Ying ve Tsai, 2017; Liu vd., 2014; Sakamaki, 2006).

Bu gelişme, Japonya'daki imalat endüstrisinde önemli bir dönüşüm yaratırken, Seru üretim sisteminin küresel olarak daha fazla araştırılması ve benimsenmesi için de bir örnek teşkil etmektedir.

Seru üretim sistemi, Japon üretim endüstrisinde ve akademik araştırmalarda önemli bir ilgi alanı oluşturmaktadır. Bu üretim yönetimi yaklaşımının Japonya dışındaki akademik çevrelerde ve endüstriyel uygulamalarda sınırlı bir tanınırlığa sahip olduğu görülmektedir. Bu durumun temel nedenleri arasında, mevcut literatürün büyük oranda Japonca olması ve uluslararası araştırmacıların kaynaklara erişiminde yaşanan zorluklar yer almaktadır. Ayrıca, Seru üretimi konusundaki araştırmaların ağırlıklı olarak Japonya odaklı olması, global akademik toplulukların konuya olan ilgisinin sınırlı kalmasına neden olmuştur. Yapılan incelemeler, Seru üretim alanında çalışan uluslararası araştırmacı sayısının kısıtlı olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, Seru üretimin küresel ölçekte yaygınlaşması için uluslararası araştırma faaliyetlerinin artırılması önem taşımaktadır.

1992 yılında, Sony'nin fabrikalarından birinde 8 milimetrelik CCD-TR55 video kamerası (Şekil 2.1) üretiminde kullanılan uzun bir konveyör hattı, belirli ürünlere adanmış birkaç kısa konveyör hattına dönüştürülmüştür.

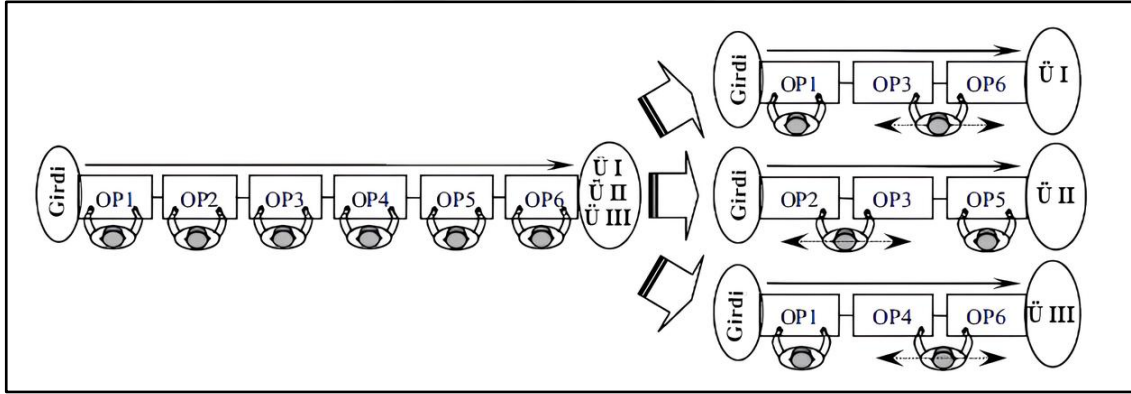


Şekil 2.1.Sony'nin 1992 Yılında Piyasaya Sürdüğü CCD-TR55 Video Kamerası

Kaynak: (<https://www.sony.com/en/SonyInfo/design/gallery/CCD-TR55/>).

Uzun konveyör hattı söküldükten sonra, her ürün, orijinal uzun hattaki gibi tek bir kısa hatta tamamlanmıştır. Sürekli iyileştirmeler sayesinde, bu kısa hatlar daha da kısalmış ve yeniliklerle optimize edilmiştir. Bu değişiklikler, Sony şirketine önemli avantajlar sağlamış ve şirketin dinamik pazar taleplerine hızlıca yanıt verebilmesini mümkün kılmıştır. Bu esneklik, ilgili üretim sisteminin hızla inşa edilebilmesi,

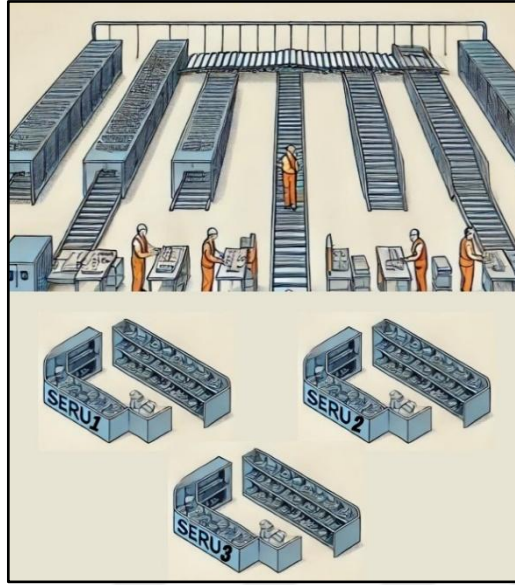
değiştirilmesi ve yeniden yapılandırılabilmesi sayesinde. 1994 yılında, Sony şirketinin eski çalışanı Kon Tatsuyoshi, bu tür yenilikçi üretim yönetimi modunu tanımlamak için ilk kez “**Seru Seisan**” terimini kullanmıştır (Liu vd., 2012: 315-317). “**Seru**” Japonca’da “**hücre**” ve “**Seisan**” ise “**üretim**” anlamına gelmektedir. Bu iki terimin birleşimi, Japon literatüründe “**Seru Seisan**” yani “**Seru Üretimi**” olarak adlandırılmaktadır. Bu çalışmada da bu terim, “Seru üretimi” olarak tanımlanmıştır. Geleneksel üretim hatlarının Seru üretim sistemine dönüşümü Şekil 2.2’de gösterilmektedir. Bu şekilde, uzun bir montaj hattının daha küçük ve esnek Seru üretim birimlerine nasıl dönüştürüldüğü görülmektedir. Tek bir uzun hat yerine, operatörlerin (OP) daha etkin çalışabildiği ve farklı ürünlerin (Ü) üretilbildiği üç ayrı Seru üretim birimi oluşturulmuştur.



Şekil 2.2. Uzun Bir Çizgi Kısaltarak Ayırma (OP= operatör, Ü=Ürün)

Kaynak: (Liu vd., 2010: 92).

Şekil 2.2 ve 2.3, geleneksel düz montaj hattının nasıl Seru Üretimi Sistemine dönüştüğünü detaylı bir şekilde göstermektedir. Kısa süre içinde birçok Japon imalat şirketi, Sony'nin izinden giderek konveyör hatlarını sökmüş ve Seru üretimini benimsemiştir. Canon da bu başarıdan etkilenerek Seru üretimini kullanmaya başlamıştır. 1997 yılında yapılan bir ankette, Japon imalat işletmelerinin %23,2'sinin Seru üretimini benimsediği ve %25'inin bu süreci benimsemeyi planladığı ortaya çıkmıştır. Günümüzde Seru üretimini benimseyen Japon imalat işletmelerinin yüzdesi çok daha yüksek olmalıdır. Böylece, Seru üretimi Japonya'da üretim yönetimi modunun ana akımlarından biri haline gelmiştir (Liu vd., 2010: 94).



Şekil 2.3. Geleneksel Düz Hatların Serulara Evrilmesi

Bu önemli dönüşüm (Şekil 2.3), üretim sisteminin esnekliğini artırırken, operatör verimliliğini de optimize etmektedir.

Seru üretimi üzerine ilk akademik çalışma Tsukada Shinohara tarafından 1995 yılında yapılmıştır. O tarihten bu yana, Japon üretim işletmelerinde Seru'nun uygulanmasına ilişkin birçok rapor, Japon dergi ve gazetelerinde yer almıştır. Ayrıca, IE Review ve Factory Management gibi birçok Japon akademik dergisi de Seru ile ilgili pratik deneyimleri ve akademik araştırma sonuçlarını yayınlamıştır(Liu vd., 2010: 94).

2.2.Seru Üretim İlk Ortaya Çıkışı ve Yükselişi

Seru üretim, Japonya'daki üretim yönetimi modunun bir yeniliğidir. Japonya içinde ve dışında karışık faktörlerden oluşan çok karmaşık bir ortamda ortaya çıkmıştır. Bu yenilikçi üretim modunun ortaya çıkışındaki temel faktörler şu şekilde tanımlanabilir;

- ***Talebin yüksek çeşitlilik ve düşük hacme dönüşmesi***

Talep değişiklikleri, ürün çeşitliliği ve ürün hacmi gibi iki ana boyutta somutlaşır (Ohno, 1988; Fujimoto, 1999). Ürün çeşitliliği bağlamında, tüketicilerin giderek daha fazla çeşitlilik ve kişiselleştirme talepleri, işletmeleri ürün portföylerini genişletmeye zorlamaktadır. Aynı zamanda, ürün yaşam döngülerinin kısalması, daha sık aralıklarla yeni ürünler geliştirme ihtiyacını doğurmaktadır. Ancak, müşteri

taleplerindeki dalgalanmalar, ürün hacmi üzerinde olumsuz etkilere yol açarak üretim süreçlerini zorlaştırabilir.

Bu tür değişken ve dalgalı talepler karşısında, geleneksel konveyör hatlarının verimliliği ciddi şekilde düşebilir. Yüksek verimlilik sunan ancak esneklik açısından sınırlı olan bu hatların, esneklik arayan üretim kuruluşları tarafından acilen değiştirilmesi gerekmektedir. Japonya'da, Seru üretim sistemi, yüksek ürün çeşitliliği ve düşük ürün hacmi ile dinamik piyasa koşullarına uyum sağlamak için en etkili üretim yaklaşımlarından biri olarak kabul edilmektedir (Luo vd., 2016). Özellikle, Canon, Sony, Panasonic ve Fujitsu gibi büyük Japon firmaları, Seru üretimi benimseyerek bu alanda büyük başarılar elde etmişlerdir.

Seru üretim sistemi, geleneksel üretim sistemlerinin kısıtlamalarını aşmak için geliştirilmiş yenilikçi bir modeldir. Bu sistem, üretim süreçlerinin her aşamasında esnekliği ve verimliliği bir arada sunarak, işletmelerin hem müşteri taleplerine hızla yanıt vermesini hem de üretim süreçlerini optimize etmesini sağlamaktadır. Örneğin, Seru üretim sisteminde, taşıyıcı hatların sökülmesi ve esnek üretim hücrelerinin oluşturulması, üretim esnekliğini artırırken maliyetleri düşürmektedir (Ying ve Tsai, 2017; Liu vd., 2014).

Bu yaklaşımlar, modern üretim sistemlerinin gelecekte nasıl evrileceği konusunda önemli ipuçları sunmaktadır. Seru üretim sisteminin uluslararası düzeyde tanınması ve yaygınlaşması, işletmelerin hızla değişen pazar koşullarına uyum sağlama yeteneklerini artıracak ve küresel rekabet gücünü pekiştirecektir.

▪ *Taşıyıcı hattının düşük esnekliği*

Taşıyıcı hatlar, yüksek verimlilikleri nedeniyle seri üretim sistemlerinin son montaj aşamalarında sıklıkla tercih edilir. Bu sistemlerin avantajları arasında yüksek üretkenlik, üstün ürün kalitesi, ölçek ekonomisi sayesinde düşük ürün maliyeti ve düşük vasıflı işçilerle düşük işgücü maliyeti gibi unsurlar bulunur. Ancak, taşıyıcı hatların bazı önemli dezavantajları da vardır ve bu dezavantajlar genellikle imalat işletmelerinin yöneticileri tarafından yeterince dikkate alınmamaktadır (Ying ve Tsai, 2017). Taşıyıcı hatlarının en büyük dezavantajlarından biri, esneklik eksikliğidir. Çoğu konveyör hattı, yalnızca bir veya birkaç spesifik ürün tipi için tasarlanmıştır. Bu nedenle, ürün tipi değiştiğinde hattın yeniden yapılandırılması zorunlu hale gelmekte, zaman kaybı ve ek

maliyetlere yol açmaktadır. Dalgalanan talep hacimlerine karşı yüksek performans elde edebilmek için hattın sürekli olarak ayarlanması gereklidir.

Tanımlanan eksiklikler, Japonya'daki birçok imalat işletmesinin üretim esnekliğini artırmak amacıyla taşıyıcı hatları sökme yoluna gitmesine neden olmuştur. Üretim sistemlerinin esnekliği, bir işletmenin pazar taleplerine uyum sağlama yeteneğini belirleyen kritik bir faktördür. Esneklik, aynı zamanda üretim kapasitesinin ve işletmenin rekabet gücünün de önemli bir göstergesidir (Liu vd., 2012; Ren Wang, 2019). Bu bağlamda, taşıyıcı hatlarının esneklikten yoksun olması, modern üretim süreçlerinde büyük bir dezavantaj olarak görülmekte ve bu nedenle daha esnek üretim modellerine geçiş önem kazanmaktadır.

Japonya'daki birçok ileri görüşlü imalat işletmesi, taşıyıcı hatları sökerek ve daha esnek üretim sistemlerine geçiş yaparak, üretim esnekliğini artırmanın ve piyasa koşullarına daha hızlı uyum sağlamanın bir yolu olarak bu stratejiyi benimsemiştir. Özellikle, dinamik pazar taleplerine yanıt verebilmek için üretim sistemlerinin esnek olması, günümüzde giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Liu vd., 2010: 97).

▪ *Japonya'da 1991'den sonra yaşanan uzun ekonomik durgunluk dönemi*

1990'ların başlangıç döneminde, ekonomik balonun çöküşünden önceki süreçte, Japon imalat endüstrisi, ileri düzey fabrika otomasyon sistemlerinin uygulanmasına yönelik kapsamlı sermaye yatırımları gerçekleştirmiştir. Bu periyotta konveyör sistemleri, robotik teknolojiler ve yüksek teknolojlili ekipmanlar, üretim proseslerinde yaygın bir şekilde entegre edilmeye başlanmıştır. Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu (UNECE) ve Uluslararası Robotik Federasyonu'nun (IFR) verilerine göre, Japonya'daki çok fonksiyonlu endüstriyel robotların operasyonel envanteri 1997 yılında 413.000 üniteye ulaşmış olup, bu rakam ülkenin otomasyon teknolojilerine yönelik yoğun yatırım stratejisini kanıtlar nitelikte olmuştur (Shan vd., 2022).

1991 yılında gerçekleşen ekonomik balonun patlaması, menkul kıymetler borsası ve gayrimenkul piyasalarındaki keskin değer kayıplarıyla birlikte, Japonya'yı “kayıp on yıl” olarak literatüre geçen uzun süreli bir ekonomik çöküş dönemine sürüklemiştir. Bu makroekonomik kriz, Japon imalat işletmelerinin geniş ölçekli otomasyon projelerine yönelik planladıkları büyük ölçekli sermaye yatırımlarının askıya alınmasına sebebiyet vermiştir. İmalat sektörü işletmeleri, ekonomik durgunluğun tetiklediği finansal kısıtlar

nedeniyle, otomasyon sistemlerine yönelik yatırım kapasitelerini önemli ölçüde yitirmişlerdir (Takeuchi, 2006).

Bu süreçte endüstriyel yöneticiler, yüksek maliyetli otomasyon sistemlerinin, değişken ve istikrarsız pazar talebi koşullarında öngörülen verimlilik seviyelerine ulaşamadığını tespit etmişlerdir. Bu farkındalık, Japon imalat sektöründe düşük maliyet yapısına sahip ancak yüksek verimlilik parametreleri sunan sistemlere yönelik talebi belirginleştirmiştir. Hem dışsal ekonomik baskılar hem de internal performans değerlendirmeleri, bu tür sistemlerin geliştirilmesi ve adaptasyonuna yönelik güçlü bir motivasyon oluşturmuştur (Shan vd., 2022; Shinohara, 1995). 1990'ların ekonomik resesyonu, Japon imalat işletmelerini konvansiyonel konveyör sistemlerini dekomisyon ederek, daha esnek ve inovatif üretim yönetimi modlarına geçiş yapmaya yöneltmiştir. Bu transformasyon süreci, Japon imalat sektörünün yeni bir üretim paradigmasına evrilmesine zemin hazırlamıştır.

▪ *Uluslararası pazarda kıyasıya rekabet*

Küreselleşmenin hızlanmasıyla Japon endüstrisi, uluslararası rekabetin baskısı altında önemli bir dönüşüm geçirmiştir. Bu rekabet baskısının özellikle Çin ve Kore gibi Doğu Asya ülkelerinden geldiği görülmektedir. Bu ülkelerin düşük ve orta-düşük fiyat segmentinde ürettikleri elektronik ürünler, Japon elektronik sektörünün küresel pazardaki rekabet gücünü önemli ölçüde azaltmıştır. Bu rekabet ortamı, Japonya'nın endüstriyel yapısını yeniden şekillendirmesini gerekli kılmıştır (Takeuchi, 2006; Shan vd., 2022).

1990-1995 döneminde Japon Yeni'nin Amerikan Doları karşısında 145 Yen seviyesinden rekor seviye olan 79.75 Yen seviyesine yükselmesi, Japonya'nın uluslararası rekabette ciddi bir maliyet baskısıyla karşılaşmasına neden olmuştur (Sundar vd., 2014). Para birimindeki bu değer artışı, Japon ürünlerinin küresel pazarlardaki fiyat rekabetini olumsuz etkilemiş ve ülkenin dış ticaret dengesinde önemli bozulmalara yol açmıştır. Bu ekonomik gelişmeler, Japonya'nın ihracat performansını zayıflatmış ve sanayi sektöründe çeşitli yapısal sorunlar yaratmıştır (Wang vd., 2019).

Bu zorlu koşullara uyum sağlamak için, Japon üreticileri maliyet verimliliği ve rekabet gücünün artırılmasına yönelik çeşitli stratejiler geliştirmiştir. Doğu Asya kaynaklı rekabet tehdidine karşı, birçok Japon üretici, yurt dışı üretim tesislerinin kurulumu veya mevcut üretim sistemlerinin iyileştirilmesi yoluyla maliyet avantajı elde

etmeye çalışmıştır (Yu vd., 2017b). Bu stratejik girişimler, Japonya'nın küresel pazardaki rekabetçi konumunu koruma ve güçlendirme çabalarının temel unsurları arasında yer almaktadır.

▪ ***İş koşullarından ve işletme kültüründen kaynaklanan düşük çalışan morali***

İşletmelerin yönetim kademeleri ve iş tasarımcıları, insan kaynağının psikolojik yönlerini genellikle göz ardı etmektedir. Özellikle montaj hatlarında aşırı uzmanlaşma ve katı zaman kısıtları, çalışanlar için monoton ve tatminsiz çalışma koşulları yaratabilmektedir. Bu çalışma ortamı, uzun vadede çalışanların motivasyonunu ve iş performansını olumsuz etkileyebilmektedir (Wang vd., 2019). Bu nedenle, bireysel yeteneklerin geliştirilmesi ve ekip güçlendirme yaklaşımlarının uygulanması önem kazanmıştır. Günümüzde giderek daha fazla organizasyon, çalışan katılımının ve örgütsel bağlılığın önemini kavramakta ve insan odaklı iş ortamı tasarımını benimsemektedir (Takeuchi, 2006).

Japon iş gücünün büyük bir kısmı mesleki bağlılık göstermekte ve işlerini kariyer açısından değerlendirmektedir. Ancak, Japon işletmelerindeki bazı kültürel uygulamalar, çalışan motivasyonunda düşüşe yol açabilmektedir. Öncelikle, geleneksel ücret sistemi performansa değil, kıdeme dayalı bir yapıya sahiptir (Sundar vd., 2014). Bu sistemde ücret düzeyi, iş performansından çok kurumda geçirilen süreyle ilişkilendirilmektedir. Bu durum, çalışanlar arasındaki rekabeti ve motivasyon unsurlarını olumsuz etkileyebilmektedir. İkinci olarak, ömür boyu istihdam anlayışı, çoğu Japon işletmesinin temel özelliğidir. Bu yapı, yönetici kadrosunun kurumsal bağlılığını zayıflatabilmekte ve organizasyon genelinde moral düzeylerinde düşüşe neden olabilmektedir (Torkul vd., 2022; Villa ve Taurino, 2013).

Çalışanların zenginleştirilmiş iş beklentilerini karşılamak için, birçok Japon üretim işletmesi, çalışma koşullarını ve kurum kültürünü iyileştirme yönünde çalışmalar yapmaktadır. Bu yenilik hareketleri, geleneksel montaj hattı yaklaşımının ötesinde, daha insan merkezli ve esnek üretim sistemlerinin geliştirilmesi sürecini hızlandırmıştır. Bu yenilikçi üretim sistemleri, üretim verimliliğini artırmanın yanı sıra, çalışanların iş tatminini ve motivasyonunu yükseltmeyi de amaçlamaktadır (Liu vd., 2014).

▪ ***Toyota Üretim Sisteminin Sınırları***

Toyota Üretim Sistemi (TÜS), Toyota Motor Corporation'ın üstün performansının temelini oluşturmuş ve küresel düzeyde birçok işletme tarafından benimsenerek üretim yönetimi alanında önemli bir dönüşümü başlatmıştır. TÜS, Japon otomotiv sektöründeki başarılı uygulamalarının yanı sıra, elektronik, metal işleme, mekanik imalat ve gıda tedarik zinciri gibi farklı üretim sektörlerinde de yaygın kabul görmüştür. Bu yenilikçi sistem, hizmet sektörlerine kadar yayılmış ve bu alanlarda da etkili bir şekilde uygulanmıştır (Liu vd., 2014; Ohno, 1998).

Otomotiv endüstrisinde kullanılan büyük hacimli ve ağır bileşenlerin aksine, elektronik endüstrisi, özellikle televizyon, dijital görüntüleme cihazları, bilgisayar sistemleri, yazıcılar ve ev aletleri gibi ürünlerde kullanılan parçalar daha kompakt ve hafif özellikler göstermektedir. Bu karakteristikler, elektronik sektöründe manuel operasyonların ve malzeme taşıma süreçlerinin etkin şekilde optimize edilmesine olanak sağlamıştır (Liu vd., 2014). Elektronik endüstrisinin bu süreçsel özellikleri, Toyota Üretim Sistemi'nin hedeflenen performans kriterlerini sürdürülebilir biçimde karşılayamadığı durumlarda, alternatif bir üretim sistemi geliştirme gerekliliğini ortaya çıkarmıştır (Yin vd., 2008). Bu gereksinim, Seru üretim sisteminin yaygınlaşmasında itici güç olmuştur.

Seru üretim sistemi, özellikle elektronik sektöründe, küçük boyutlu ve hafif parçaların manuel işlenmesinin optimize edildiği süreçlerde önemli bir uygulama alanı bulmuştur. Geleneksel üretim sistemlerinin (TÜS) etkinliğinin düşük kaldığı operasyonel koşullarda, Seru üretim modeli, sağladığı yüksek esneklik ve operasyonel verimlilik özellikleriyle üretim işletmeleri tarafından tercih edilen bir sistem haline gelmiştir.

2.3.Seru ile Hücresel Üretim Arasındaki Farklar

Seru üretimi ile Hücresel üretim arasında birçok açıdan farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklar şu şekilde açıklanmıştır (Murase vd., 2006: 318; Asao vd., 2014; Yu vd., 2015):

- ***Oluşumunun Teorik Temeli***; Hücre üretimi ile karşılaştırıldığında *Seru* üretimi, düşük esnekliği iyileştirmek ve konveyör hattının yüksek üretim verimliliğini korumak için konveyör hattının sökülmesinden türetilmiştir.

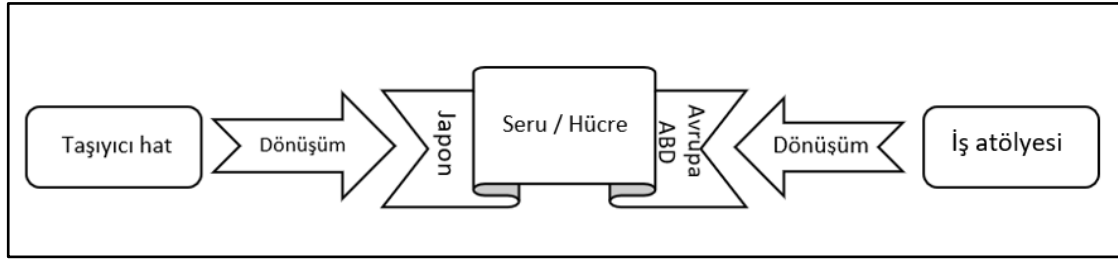
▪ **Pratikteki Uygulama Alanları;** Hücre üretimi ve *Seru* üretimi çeşitli imalat işletmelerinde yaygın olarak benimsenmiştir. Hücre üretimi genellikle üretim süreciyle bağlantılıdır, *Seru* üretimise montaj sürecinde uygulanır. Örneğin her bir hücre şekillendirme, döküm, ısıl işlem, işleme, montaj, son işlem, test ve paketleme olmak üzere sekiz işlem türü içermektedir.

▪ **Süreç Ekipman ve Araçları;** Geleneksel atölyeden hücresel üretime geçişte, temel yapıda önemli değişiklikler yapılmadan ekipmanların yeniden düzenlenmesi yeterli olmaktadır. Ancak *Seru* üretimde, taşıyıcı hattın kaldırılmasıyla birlikte ekipman yerleşimi değişmekte ve özellikle ağır ekipmanların çoğu eş zamanlı olarak yeniden tasarlanmaktadır. *Seru*'nun kolay bir şekilde yeniden yapılandırılabilmesini sağlamak için büyük ve ağır ekipmanların hafif, taşınabilir ve düşük maliyetli olacak şekilde yeniden tasarlanması kritik önem taşımaktadır.

▪ **Üretim Sisteminin Esnekliği;** Hücre üretimi ve *Seru* üretiminin her ikisi de yüksek esnekliğe sahiptir, ancak iki sistemin arkasındaki mekanizmalar farklıdır. Hücre üretiminin düzeni, tüm üretim sürecinde kullanılan farklı işlevlere sahip ekipmanların tek bir hücreye dahil edilmesini gerektirir. Genellikle U şeklinde bir hat kullanılır. *Seru* üretiminde ise uzun hat kaldırılır ve yerine çok sayıda kısa hat yerleştirilir. Bu kısa hatlar çeşitli düzenlerde ortaya çıkar ve düz hat, U- L şeklindeki hat ve daha bükülmüş hatlar genellikle kararsız pazar talebine yanıt olarak son montaj süreçlerinde benimsenmektedir.

▪ **Hücre / Seru Üretim Evrimi;** Uzun konveyör hattından sökülen *Serular* sürekli olarak gelişmektedir. Çeşitli araştırmalar ve üretim uygulamaları, *Seruların* genel olarak evrim sürecinin üç ana biçiminde ortaya çıktığını göstermektedir: **Bölünmüş Seru, Dönen Seru ve Yatai** (*Seru* biçimleri bu bölümde açıklanmıştır). *Yatai*, Japonca "sokak tezgâhı" anlamına gelen bir kelimedir. Bazı araştırmacılar *Yatai*'yi *Seru*'nun evriminin mükemmel ve son nesnesi olarak görmektedir.

Hücresel üretim ve *Seru* üretim sistemleri arasındaki yapısal farklılıklar, Şekil 2.4'te şematik olarak görselleştirilmiştir (Liu vd., 2010: 97).



Şekil 2.4.Seru Üretim ve Hücresel Üretim Arasındaki Fark

Kaynak: (Liu vd., 2010: 97).

Şekil 2.4'te, Seru üretim sisteminin temel iş akışı gösterilmektedir. Sistem, taşıyıcı hat ve iş atölyesi arasında çift yönlü bir dönüşüm mekanizması içermektedir. Merkezde konumlandırılmış Seru/Hücre yapısı, bu dönüşüm süreçlerini yönetmektedir. Bu yapı, gelen iş parçalarının hem taşıyıcı hattan iş atölyesine hem de iş atölyesinden taşıyıcı hatta geçişlerini kontrol etmektedir. Böylece üretim sistemi, değişen talep koşullarına ve üretim gereksinimlerine hızlı adapte olabilmektedir. Bu sayede geleneksel üretim hatlarının katı yapısı yerine, daha dinamik ve esnek bir üretim ortamı sağlanmaktadır. Seru üretim sistemi, Japon üretim felsefesinin bir ürünü olarak ortaya çıkmış, özellikle Canon firmasının öncülüğünde geliştirilmiştir. ABD'de hücresel üretim, Avrupa'da ise grup teknolojisi olarak benzer yaklaşımlar uygulanmıştır. Ancak Seru sistemi, Japon üretim sisteminin esneklik ve verimlilik prensiplerini daha etkin bir şekilde birleştirmektedir. Amerikan sistemlerinde görülen yüksek otomasyon ve Avrupa'daki grup teknolojisi yaklaşımından farklı olarak, Seru sistemi insan odaklı bir yapıya sahiptir. Bu özelliği ile hem Batı'nın teknoloji odaklı yaklaşımını hem de Japonya'nın insan merkezli üretim felsefesini harmanlayan bir sistem olarak öne çıkmaktadır.

Çoğu işletme geleneksel üretim montaj hatları temelinde üretim yapmaktadır. Seru ve geleneksel montaj hattı arasındaki farklar Tablo 2.1'de verilmiştir (Kono, 2004; Yu vd., 2015):

Tablo 2.1. Seru ile Geleneksel Montaj Hattı Arasındaki Temel Farklar

Kriter	Seru Üretim Sistemi	Geleneksel Montaj Hattı
Esneklik	Yüksek esneklik, hızlı uyum sağlama	Düşük esneklik, değişime yavaş adaptasyon
Üretim Hacmi	Düşük hacimlerde verimli üretim	Yüksek hacimlerde optimum performans
Envanter Yönetimi	Az sayıda mamul ve WIP envanteri	Yüksek stok seviyeleri ve WIP

Üretim Stratejisi	Sipariş üzerine üretim, talebe göre	Kitle üretim, stok için üretim
Organizasyon Yönetimi	Çok vasıflı çalışanlar, özerklik	Tek vasıflı çalışanlar, sıkı kontrol
Üretim Şekli	Paralel iş akışı, esnek hücreyel yapılar	Seri iş akışı, sabit hat yapısı
Verimlilik Hedefi	Tüm çalışanların verimliliğini maksimize etme	Hat verimliliğini maksimize etme
Ekipman Yatırımı	Düşük, esnek ekipman kullanımı	Yüksek, özelleşmiş ekipman
Otomasyon Düzeyi	Düşük otomasyon, manuel çalışma	Yüksek otomasyon, mekanize süreçler
Çalışan İstekliliği	Yüksek motivasyon ve katılım	Düşük motivasyon, monoton çalışma
İşçi Yönetimi	İnisiyatif geliştiren, aktif yönetim	Pasif, direktif odaklı yönetim
Enerji Tüketimi	Düşük, verimli enerji kullanımı	Yüksek enerji tüketimi
Kusurlu Ürün Yönetimi	İzlemesi kolay, hızlı müdahale	Karmaşık izleme, geç müdahale
Sistem Bütünlüğü	Yüksek süreç entegrasyonu	Düşük süreç entegrasyonu
Düzen	U şekli, esnek düzenler	Lineer hat düzeni

Kaynak:(Kono, 2004; Yu vd., 2015).

Tablo 2.1’de görüldüğü üzere, Seru üretim sistemi ve geleneksel montaj hattı, temel operasyonel karakteristikler açısından belirgin farklılıklar göstermektedir. Seru sistemi, esneklik ve çalışan odaklı yapısı ile öne çıkarken, geleneksel montaj hattı yüksek hacimli üretim ve otomasyon odaklı yapısıyla karakterize edilmektedir. Bu farklılıklar, her iki sistemin farklı üretim senaryolarında optimal performans sergileyebileceğini göstermektedir.

Seru ve Hücreyel üretim sistemleri arasındaki temel farklılıklar Tablo 2.2’de detaylı şekilde karşılaştırılmıştır:

Tablo 2.2. Seru ile Hücreyel Üretim Sistemleri Arasındaki Temel Farklar

Kriter	Seru Üretim Sistemi	Hücreyel Üretim Sistemi
Pazar Ortamı	Yüksek çeşitlilik ve düşük hacim, değişken talepler	Yüksek çeşitlilik ve düşük hacim
Düzen	U şeklinde ve diğer kompakt düzenler	U şeklinde ve diğer kompakt düzenler
İşçi Profili	Çok vasıflı çalışanlar	Çok vasıflı çalışanlar
Arka Plan	1990’ların ortalarında Japon endüstrisi	1960’ların ortalarında Avrupa endüstrisi
Birim Adı	Seru	Hücre
Odak Noktası	İşçi odaklı	Makine odaklı
Amaç	Montaj hattındaki düşük esneklik ve darboğazları aşmak	Atölye verimliliğini artırmak
Anahtar Teknoloji	Seru oluşumu ve Seru planlaması	Grup Teknolojisi (GT)
İşleme Türü	Montaj, denetim, paketlenme gibi süreçler	İşleme, temizleme, şekillendirme, döküm ve ısıtma işlemi
Ekipman	Basit, ucuz, hafif ve taşınabilir	Pahalı ve çok işlevli
Birim İnşası	Seru oluşumu ve ekipman yerleşimi	Cihaz gruplama ve cihaz yerleşimi
Benzerlik Kriteri	Çalışanların beceri düzeyine göre	Parça/ürün benzerliğine göre
Çok Vasıflı Çalışan	Birden fazla görevi yerine getiren çok vasıflı çalışanlar	Benzer parçaları/ürünleri kullanan çok vasıflı çalışanlar
Yeniden Yapılandırma	Pazar talebine göre hızla yeniden yapılandırılabilir	Sık yeniden yapılandırmaya uygun değil

Evrım	Sürekli gelişim ve evrim: Seru'dan Yatai'ye	Belirgin bir evrimsel eğilim yok
--------------	---	----------------------------------

Kaynak: (Kono, 2004; Yu vd., 2015).

Tablo 2.2'de görüldüğü üzere, her iki sistem de benzer pazar koşullarında ve düzen yapılarında faaliyet göstermesine rağmen, temel farklılıklar odak noktası, amaç ve operasyonel karakteristikler açısından ortaya çıkmaktadır. Seru sistemi işçi odaklı ve yüksek esneklik hedeflerken, hücresel üretim makine odaklı ve atölye verimliliğine yoğunlaşmaktadır. Özellikle yeniden yapılandırma esnekliği ve evrimsel gelişim açısından Seru sistemi daha dinamik bir yapı sergilemektedir.

Seru üretim sistemine en yakın yalınlığa sahip üretim olan TŪS ile Seru arasındaki temel farkların karşılaştırılması da Tablo 2.3'de detaylı olarak gösterilmiştir.

Tablo2.3. Seru ile TŪS Arasındaki Temel Farklar

Kriter	Seru Üretim Sistemi	Toyota Üretim Sistemi (TPS)
Benzerlikler		
Pazar Ortamı	Yüksek çeşitlilik ve düşük hacim, değişken talepler	Yüksek çeşitlilik ve düşük hacim
Azaltılmış Atık	Sıfır envanter, JIT (Tam Zamanında Üretim), Kanban	Sıfır envanter, JIT (Tam Zamanında Üretim), Kanban
Üretim Felsefesi	Yalın üretim prensiplerine dayalı, israfı minimize etme	Yalın üretim prensiplerine dayalı, israfı minimize etme
Sürekli İyileştirme (Kaizen)	Tüm çalışanların katılımıyla sürekli iyileştirme	Tüm çalışanların katılımıyla sürekli iyileştirme
Farklılıklar		
Organizasyon Yapısı	Çoklu Seru birimleri, küçük ve esnek üretim hücreleri	Karma ürün grupları, büyük ölçekli üretim hatları
Çok Vasıflı Çalışanlar	Çok vasıflı çalışanlar zorunludur, her çalışan birden fazla görevi üstlenir	Çok vasıflı çalışanlar olabilir, ancak gerekli değildir, iş bölümü esastır
Teslim Süresi	Kısa teslim süreleri, talebe hızlı yanıt	Uzun teslim süreleri veya müşteri bekleyebilir, stoktan karşılanır
Çeşitlilik Değişimi	Üretim sistemi üzerinde küçük veya hiç etkisi olmaz	Üretim sistemi üzerinde büyük etkiler yaratabilir
Uygulama Alanı	Elektronik endüstrisi, küçük cihazlar ve hızlı değişen ürünler	Otomobil endüstrisi, büyük ölçekli ve karmaşık ürünler
İstisna Süreci	Nispeten basit, manuel süreçler	Otomasyon yoğun, teknoloji tabanlı süreçler
Ekipman	Basit, ucuz, hafif ve taşınabilir ekipmanlar	Pahalı, ağır ve çok işlevli ekipmanlar
Yeniden Yapılandırma	Pazar talebine göre hızla yeniden yapılandırılabilir	Sık sık yeniden yapılandırma için uygun değildir

Esneklik	Yüksek esneklik, düşük maliyetli değişiklikler	Daha düşük esneklik, büyük ölçekli değişiklikler zor ve maliyetlidir
Enerji Tüketimi	Düşük enerji tüketimi	Yüksek enerji tüketimi
Çalışan İstekliliği	Yüksek motivasyon ve katılım, işçi inisiyatifi ön planda	Daha düşük motivasyon, hiyerarşik yönetim
Verimlilik Hedefi	Tüm çalışanların verimliliğini maksimize etme	En yavaş çalışanın verimliliğini artırma
Otomasyon Düzeyi	Düşük otomasyon, daha fazla manuel iş	Yüksek otomasyon, makine ağırlıklı
Çalışma Ortamı	Çalışan odaklı, ergonomik ve esnek iş düzeni	Makine odaklı, katı ve sistematik iş düzeni
Evrım	Sürekli gelişim ve evrim, pazar değişikliklerine hızla adapte olma	Belirgin bir evrimsel eğilim yok, büyük değişiklikler zaman alır

Kaynak: (Kono, 2004; Yu vd., 2015).

Tablo 2.3'te tanımlandığı üzere, her iki sistem de yalın üretim prensiplerini ve sürekli iyileştirme felsefesini benimsemelerine rağmen, operasyonel karakteristikler açısından önemli farklılıklar göstermektedir. Seru sistemi daha esnek, çalışan odaklı ve düşük maliyetli bir yapı sunarken, TUS, daha sistematik, otomasyon ağırlıklı ve büyük ölçekli üretim süreçlerine odaklanmaktadır.

2.4.Seru Üretimin Avantaj ve Dezavantajları

Seru Üretim sisteminin temel avantajları şu şekilde açıklanabilir (Sakamaki, 2006; Liu vd., 2010: 99; (Liu vd., 2014; Wang vd., 2021b);

- **Yüksek esneklik;** İşletmeler, daha çevik ve uyarlanabilir üretim sistemleri oluşturmak için, klasik konveyör hatlarını bırakarak Seru sistemini tercih etmektedir. Serular, taşınabilir iş istasyonları, minimum ekipman gereksinimleri ve nitelikli çalışanlardan oluşmaktadır. Seru'nun düzeni ve yeniden yapılandırılması görece hızlı ve etkilidir. Bu bağlamda Serular, personel ve iş istasyonu değişiklikleri ile değişken talebe uyum sağlayabilmektedir. Buna karşılık, konveyör hattının yerleşimi ve çalışan sayısı genellikle sabittir; verimlilik de buna bağlı olarak değişmemektedir. Esnekliğin olmadığı böyle bir üretim sisteminde genellikle eksik veya fazla üretim sorunları görülmektedir.

- **Kısa teslim süresi;** Klasik konveyör hattının tasarımı, kurulumu ve işletilmesi birkaç ay sürerken, Seru üretim sistemi birkaç hafta içinde hızla planlanabilir ve kurulabilir, bu da kurulum sürecinde önemli bir azalma sağlamaktadır (Miyake, 2006).

- **Düşük envanter;** Konveyör hattının Serular ile değiştirilmesiyle hem süreç içi çalışma stoku hem de nihai ürün stoku belirgin şekilde azalmaktadır.

- **İyi moral;** Konveyör hattından Serulara geçişle birlikte, çalışanlar artık tekdüze bir tempoda tekrarlayan işler yapmamaktadır. Seru üretimi kapsamında, çalışanlar hem operasyonel hem de yönetsel olmak üzere çoklu becerilerde uzmanlık eğitimi almaktadır. Merkezi olmayan yetkiler, kendi inisiyatiflerini kullanmalarını ve potansiyellerini keşfetmelerini sağlamaktadır. İletişim olanakları arttıkça, Seru'daki çalışanlar performanslarını sürekli iyileştirmek için etkili bir çalışma ekibi oluşturmaktadır.

Seru üretiminin dezavantajları ise şu şekilde sıralanabilir (Steckevd., 2012; Sakamaki, 2006; Liu vd., 2010: 99; Torkul vd., 2022);

- **Seru'nun boyutunda sınırlı esneklik;** Üretim hacmindeki artışlar karşısında, Seru'nun kapasitesi iş istasyonları eklenerek veya yeni Serular kurularak hızla uyarlanabilir. Bununla birlikte, Seru'nun ölçeği sınırlıdır; bir Seru'daki personel sayısı genellikle 15 ile sınırlıdır. Üretim hacmi belirli bir sınırı aştığında, Seru'nun aşırı genişlemesi veya eklenmesi fazla alan kaplar ve verimlilik, konveyör hattına kıyasla daha düşük olur. Bu durum, yatırım maliyetlerinin artmasına neden olur.

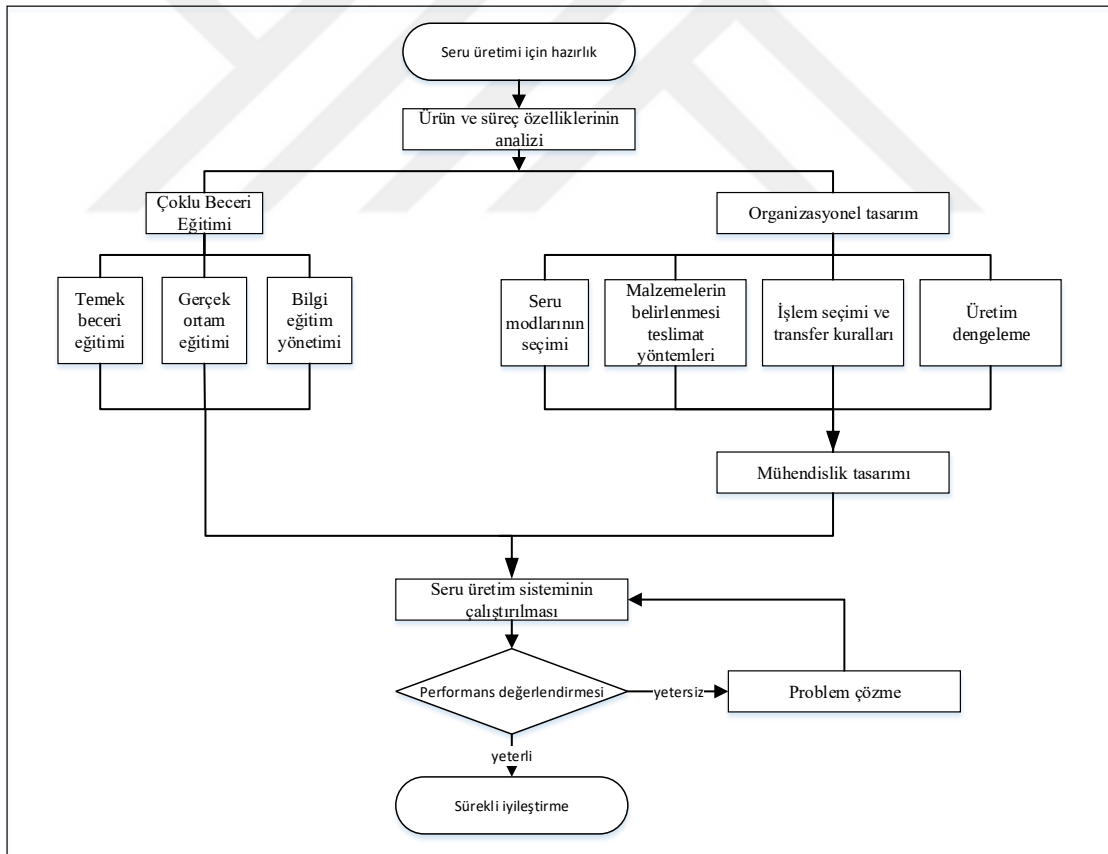
- **Birden fazla beceriye sahip çoklu beceri eğitilmiş personel;** Seru üretim sisteminin temelinde, birden fazla beceriye sahip, çok yönlü eğitim almış personel bulunmaktadır. Bu nedenle, eğitim için önemli miktarda kaynak ve zaman ayrılması gereklidir. Eğitim kapsamı, yalnızca çeşitli aparat ve ekipmanların kullanımını değil, aynı zamanda farklı ürün türleri için gereken çalışma yöntemlerini de içerir. Talep dalgalanmaları, eğitimin sürekli bir program olarak uygulanmasını zorunlu kılar ve bu durum, eğitime yapılan yatırımın uzun vadede sürdürülebilir bir nitelik taşımasını gerektirir.

- **Üretimin değişken maliyetindeki küçük artış;** Geleneksel konveyör hattının kaldırılması, ağır ekipmanların daha basit alternatiflerle değiştirilmesi ve konveyör hattına entegre edilen ekipmanların birden fazla Seru'ya dağıtılması ile sağlanır. Bu durum, basit ekipman ve aletlere yapılan yatırımların artmasına yol açmaktadır. Ancak, bu tür ekipmanlar genellikle kurum içindeki personel ve mühendisler tarafından tasarlanıp üretilmektedir. Bu nedenle, Seru üretim sisteminin ilk uygulama aşamasında değişken üretim maliyetlerinde yalnızca marjinal bir artış gözlemlenir.

▪ **Personel üzerindeki yüksek baskı;** Seru üretiminde çalışan personelin, çeşitli eğitim programlarına katılarak becerilerini geliştirmesi gereklidir. Bu personel, kapsamlı bilgi ve beceriler edinmek için önemli ölçüde zaman ve enerji harcamaktadır. Ayrıca, üretim süreçlerinin yanı sıra kalite kontrol görevlerinden de sorumludur ve disiplinler arası bir çalışma ortamında kişiler arası ilişkileri yönetmek durumundadır. Seru üretim sisteminde çalışan personel, konveyör hattına kıyasla daha fazla iş yükü ve mental baskı yaşamaktadır.

2.5.Seru Üretim’de Ürün ve Süreçlerin Analizi

Seru üretim uygulaması, üretilecek tüm ürünlerin ve bunları üretecek süreçlerin analiziyle başlamaktadır. Ürünün özelliklerine göre, Seru üretimde işlenecek uygun ürün türleri belirlenir. Şekil 2.5’debu uygulamada da oluşturulan kapsamlı bir Seru temelli akış diyagramı gösterilmiştir;



Şekil 2.5. Seru Üretimi için Genel Uygulama Çerçevesi

Kaynak: (Liu vd., 2010: 99).

Şekil 2.5'te görüldüğü üzere, Seru üretim sisteminin genel uygulama çerçevesi sistematik bir yapı içermektedir. Süreç, Seru üretimi için hazırlık aşamasıyla başlamakta ve ürün ve süreç özelliklerinin analiziyle devam etmektedir. Bu noktada süreç çoklu beceri eğitimi ve organizasyonel tasarım olmak üzere iki temel kola ayrılmaktadır.

Çoklu beceri eğitimi; temel beceri eğitimi, gerçek ortam eğitimi ve bilgi eğitim sistemlerini kapsarken, **organizasyonel tasarım;** Seru modelinin seçimi, malzemelerin belirlenmesi, işlem seçimi ve üretim dengeleme süreçlerini içermektedir. Bu iki kolun birleşimi mühendislik tasarımına yönlendirmekte ve sistemin çalıştırılmasıyla devam etmektedir. Performans değerlendirmesi sonucunda, yetersizlik durumunda problem çözme aşamasına, yeterlilik durumunda ise sürekli iyileştirme fazına geçilmektedir.

2.6.Süreç Özelliklerinin Analizi

Ürün seçiminin ardından, her ürün tipinin süreç özellikleri kapsamlı bir şekilde analiz edilmelidir. Bu analiz iki temel amaca hizmet etmektedir. Öncelikle, tüm ürünlerin süreç gereksinimlerinin eksiksiz anlaşılması sağlanmaktadır. Bu anlayış, operatörlerin çoklu beceri eğitimleri ve Seru üretim sisteminin organizasyonel ve mühendislik tasarımı için temel oluşturmaktadır.

İkinci olarak, süreç özelliklerinin analizi, gerekli Seru sayısının belirlenmesinde kritik rol oynamaktadır, çünkü bir Seru'nun büyüklüğü, kendisine atanan operasyon sayısı ile doğrudan ilişkilidir. Seru'nun boyutunu etkileyen iki önemli faktör bulunmaktadır: (1) her Seru'daki operatör sayısı ve (2) bir Seru'daki operatör sayısının yedi ile sınırlandırılması gerekliliği, ideal olarak bir ile beş operatör önerilmektedir (Liu vd., 2022).

Yedi operatörü aşan Seru'larda, operatörler arası iletişim sorunları, uzun teslimat mesafeleri ve dengesiz üretim gibi operasyonel problemler ortaya çıkabilmektedir. Üretim uygulamalarından elde edilen veriler, yüksek performanslı bir sistemde bir operatörün bir ürün montajını 15-20 dakikada tamamlayabileceğini ve bir Seru'da bir ürün için 30-40 işlem gerçekleştirebileceğini göstermektedir.

Karmaşık ürünler ve yedi operatörü aşan durumlarda, ürün süreçlerinin modüllere bölünmesi önerilmektedir. Bu modüller daha sonra farklı operatörlere atanabilmekte ve nihai montaj sürecinde birleştirilmektedir. Bu yaklaşım, her Seru'daki

maksimum operatör sayısının yedi sınırının altında kalmasını sağlamaktadır (Liu vd., 2022; Kaku vd., 2017).

2.7.Seru Üretim Sistemlerinin Tasarımı

Seru Üretim Sistemlerinin tasarımı, iki ana boyutta ele alınır: organizasyonel tasarım ve mühendislik tasarımı. Bu iki yaklaşım, sistemin hem stratejik yönlerini planlamayı hem de operasyonel süreçlerini düzenlemeyi amaçlar. Bu yaklaşımların bileşenleri şu şekilde sıralanmıştır (Stecke vd., 2012; Kaku vd., 2017).

➤ Organizasyonel Tasarım: Bu aşama, Seru üretim sisteminin nasıl yapılandırılacağını ve üretim sürecinin hangi prensiplere göre işleyeceğini belirler. Organizasyonel tasarım, aşağıdaki temel unsurları içerir:

✓ Ürün Seçimi: Üretim sistemi içinde işlenecek ürünlerin seçimi, sistemin etkinliğini doğrudan etkiler. Bu aşamada, ürünlerin özelliklerine ve üretim süreçlerine göre hangi ürünlerin Seru üretim sistemine uygun olduğu belirlenir.

✓ Malzeme Dağıtımı: Üretimde kullanılan malzemelerin üretim alanına nasıl ve ne zaman getirileceği planlanır. Bu, malzemelerin en uygun şekilde ve zamanında kullanıma hazır olmasını sağlar.

✓ İşleme ve Transfer Kuralları: Üretim sürecinde ürünlerin bir işlemde diğerine nasıl aktarılacağı ve bu süreçlerde hangi işleme kurallarının uygulanacağı belirlenir. Bu, üretim akışının kesintisiz devam etmesini ve iş gücünün verimli kullanılmasını sağlar.

✓ Üretim Dengelemesi: İş yükünün, üretim hattındaki tüm istasyonlara dengeli bir şekilde dağıtılması sağlanır. Böylece, darboğazlar önlenir ve her birimin maksimum verimlilikle çalışması sağlanır.

✓ Üretim Planlaması ve Sipariş Sevkiyatı: Üretim sürecinin zamanlaması yapılır ve müşteri taleplerine en uygun şekilde siparişlerin sevkiyatı planlanır. Bu, müşteri memnuniyetini artıran ve üretim sürecini optimize eden önemli bir adımdır.

➤ Mühendislik Tasarımı: Bu aşama, Seru üretim sisteminin fiziksel ve teknik yönlerine odaklanır. Burada, üretim sürecinin detaylı planlaması ve teknik altyapının oluşturulması şu şekilde sağlanır:

✓ Üretim Hücrelerinin Tasarımı: Seru hücrelerinin düzeni, her ürün için en verimli üretim akışını sağlayacak şekilde tasarlanır. Bu hücreler, üretim sürecinde esnekliği ve hızı artırmak için optimize edilir.

✓ Ekipman Seçimi ve Yerleşimi: Kullanılacak ekipmanların seçimi ve bu ekipmanların üretim alanında nasıl yerleştirileceği planlanır. Bu, hem iş gücünün etkin kullanılmasını sağlar hem de üretim süreçlerinin hızını artırır.

✓ Ergonomik Tasarım: Çalışanların verimliliğini artırmak ve iş tatminini sağlamak için ergonomik tasarım prensipleri uygulanır. Bu, çalışma ortamının, çalışanların fiziksel rahatlığı ve verimliliği için en uygun şekilde düzenlenmesini içerir.

Seru Üretim Sistemlerinin bu iki yönlü tasarımı, üretim süreçlerinin hem esnek hem de verimli olmasını sağlar. Organizasyonel ve mühendislik tasarımının entegrasyonu, Seru üretim sistemlerinin dinamik üretim ortamlarında yüksek performans göstermesine olanak tanır. Bu tasarım süreci, işletmelerin müşteri taleplerine hızlıca uyum sağlayabilmesini ve rekabet avantajı elde etmesini mümkün kılmaktadır.

2.8.SeruModları ve Seçimleri

Tüm Seru üretim ortamlarını karakterize eden ve onları diğer üretim sistemlerinden ayıran üç temel özellik üzerinde, tüm yazarlar hemfikirdir (Yin vd. 2008;Stecke vd., 2012;Shih, 2021):

- **Diğer Üretim Sistemlerinden Bağımsızlık:** Japonca'da “*kanketsu*” olarak adlandırılan bu özellik, her Seru'nun tüm üretim sürecini bağımsız bir şekilde yürütebilme yeteneğine işaret eder. Bu bağımsızlık, Seru'nun içinde tüm gerekli kaynakların bulunmasını sağlar. Bu kaynaklar arasında ekipman, malzeme ve en önemlisi, bir veya birkaç çoklu beceri eğitilmiş işçiden oluşan küçük bir grup yer alır. Seru'lar, diğer üretim hatlarından veya sistemlerinden bağımsız olarak çalışabilir, bu da onların esnekliğini ve verimliliğini artırır.

- **Kendi Kendini Yönetme, Sürekli İyileştirme ve Evrim:** “*Jiritsu*” olarak bilinen bu özellik, Seru'ların dış kontrol olmadan kendi kendilerini yönetebilmelerine olanak tanır. Çalışanlar, süreçleri sürekli olarak iyileştirme fırsatlarına odaklanır ve bu iyileştirmeleri uygulayarak öğrenirler. Seru'lar, sürekli olarak gelişmeye ve evrimleşmeye dayalı bir yapıdadır. Bu sistemde, çalışanlar, kendi süreçlerini izleyebilir, iyileştirme alanlarını tespit edebilir ve gerekli değişiklikleri yapabilir.

- **Kompaktlık, Düzen ve Verimlilik:** “*Majime*” adı verilen bu özellik, Seru'ların fiziksel ve bilgi akışını optimize etmeye yönelik tasarımını ifade eder. Seru'lar,

minimum yer kaplayacak şekilde tasarlanır, malzeme taşımalarını ve işçi hareketlerini en aza indirir. Bu kompakt düzenleme, ürün ve aletlerin işçiler arasında kolayca devredilmesini sağlar ve her türlü gereksiz kaynağı ortadan kaldırır. Böylece hem fiziksel hem de bilgi akışında yüksek düzeyde pürüzsüzlük ve verimlilik sağlanır(Akino, 1997; Yin vd. 2008).

- **Seruların yerleşimi;** Üretim gereksinimlerine göre değişiklik gösterir ve genellikle düz, L şeklinde veya U şeklinde düzenlenir (Liu vd., 2010; Steckle vd., 2012). Seru üretim modları genellikle üç ana şekilde tanımlanır: Bölünmüş Seru, Dönen Seru ve Yatai. Her Seru'da, bir ürünün üretim süreci birçok operasyona bölünür ve bu operasyonlar birbiriyle bağlantılı görevlerden oluşur. Bölünmüş Seru modelinde, her operatör yalnızca tek bir operasyondan sorumludur ve belirli iş istasyonları arasında hareket eder. Ancak, operatörler arasında koordinasyon sağlanamazsa, (WIP)aşırı birikmesini önlemek ve üretimin sürekliliğini korumak için çevrim süresinin artırılması gerekebilir (Yu vd., 2017: 285).

Bu Seru üretim modları, her biri farklı üretim gereksinimlerine yanıt verebilecek şekilde tasarlanmıştır ve esneklik, hız ve verimliliği ön planda tutmaktadır.

2.8.1. BölünmüşSeru

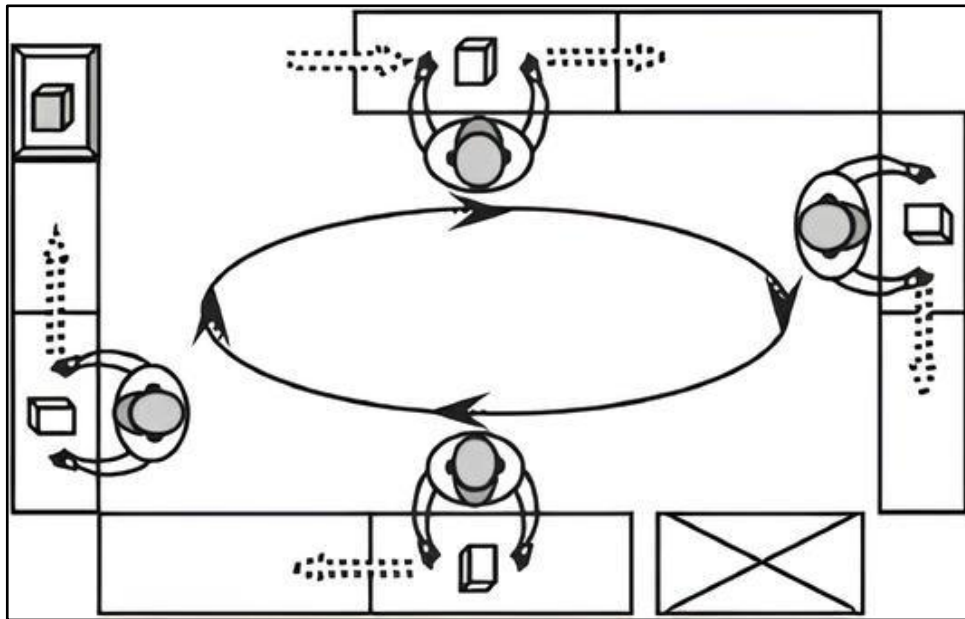
Sistemik analizler sonucunda, görevlerin karmaşıklığı ve teknolojik faktörler gibi çeşitli kısıtlamalar nedeniyle, geleneksel uzun konveyör hatları genellikle birçok kısa hatta bölünmektedir. Bu yeni yapıda, işçiler çoklu beceri eğitimi aldıktan sonra bu kısa hatlara atanır. Kısa hatlarda, işçiler daha önce olduğu gibi iş birliği yapmaya devam ederler, ancak bu sefer her işçi, konveyör hattından daha fazla işlem gerçekleştirebilir ve daha geniş bir yetkinlik setine sahip olur. Bu düzenleme, işçilerin esnekliğini artırır ve üretim sürecinin verimliliğini optimize eder.

Her kısa hat, belirli bir veya birkaç ürün türünün üretimine ayrılmıştır. Bu nedenle, çalışanlar kendilerine atanan işlemleri tamamlamak için birkaç iş istasyonu arasında hareket ederler. Bu hareketlilik, işçilerin çok yönlü beceriler kazanmasını sağlar ve üretim sürecini daha esnek hale getirir. Ayrıca, pahalı ve karmaşık ekipmanlar yerine daha ekonomik ve basit ekipmanların kullanılması, maliyetleri düşürür ve üretim sürecini daha erişilebilir kılar. Bu tür kısa hatlara Bölünmüş Seru adı verilir. Şekil 2.6'da, dört işçiye sahip U şeklinde bir birim Seru'nun yapılandırılması gösterilmektedir.

- İşçilerin hareket hızı çalışma hızlarından daha yüksektir, böylece işçilerin hareketi her zaman çalışmaya tamamen paraleldir ve ek zaman gerektirmez.
- Başlangıçta, yani Seru boşsa, bir başlangıç geçişi gerçekleşir.
- Her işçi için bir tane olmak üzere ürünler birlikte yüklenir.

2.8.2. Dönen Seru

Bu tez çalışmasında incelenen Dönen Seru modunda, çoklu beceri eğitiminin yanı sıra bazı çalışanlar başlangıçtan bitişe kadar gerekli tüm görevleri yerine getirerek ve Seru içindeki temel yönetim görevlerinde kademeli olarak yetkin hale gelerek bir veya daha fazla ürün türü üretirler. Bu çoklu beceri eğitilmiş çalışanlar, sabit bir sırayla bir iş istasyonundan diğerine geçerek tüm üretim süreçlerini tamamlar. Bir ürünü bitirdikten sonra işçi, başlangıç iş istasyonuna döner ve yeni bir üretim turuna başlar. Bu tür özelliklere sahip Seru'ya Dönen Seru denir ve tavşan kovalayan bir oyuna benzediği için “tavşan kovalayan Seru” olarak da adlandırılabilir. Şekil 2.7, dönen bir Seru formunu göstermektedir. Önceki yöntemle karşılaştırıldığında, Seru rotasyonundaki çoğu işçi teknik beceriler konusunda tam olarak çoklu beceri eğitimi almıştır. Ancak, kapsamlı yönetim bilgisine sahip olmadıkları için yönetim görevlerini üstlenmek için hala profesyonel yöneticilere ihtiyaç duyarlar (Liu vd., 2010: 101; Shih, 2021).



Şekil 2.7. Örnek Bir Dönen Seru

Kaynak: (Liu vd., 2010: 102).

Şekil 2.7’de gösterildiği üzere, Dönen üretim hattı, iki veya daha fazla çoklu beceri eğitilmiş işçinin çalıştığı bir üretim hattı türüdür. Bu hatlar genellikle U şeklinde bir düzende organize edilir. Döner üretim hattındaki her bir işçi, bir ürünü baştan sona monte etmekten, ürünü taşımaktan ve katma değerli işlemler için sırayla bir istasyondan diğerine taşımaktan sorumludur. Son istasyonda montajı tamamlayan işçi, daha sonra başka bir ürünün montajına başlamak üzere ilk istasyona geçer (Sakamaki, 2006).

Rotasyon sisteminin en önemli avantajlarından biri, üretim hacmindeki önemli dalgalanmaları esnek bir şekilde idare edebilmesidir. Örneğin, eğer sistem birden fazla Yatai'den oluşuyorsa, talep artışı sırasında (alışveriş tatilleri öncesinde olduğu gibi), üretim kapasitesini artırmak için bir veya daha fazla Yatai'ye ilave işçiler tahsis edilebilir. Sonuç olarak, bu Yatai'ler dönen Serulara dönüştürülebilir ve talep artışı sona erdikten sonra tekrar Yatai'lere dönebilir. Dönen Seru modu şu özellikleri barındırır (Yu ve Tang, 2019):

- Bir hat, bir ürünün sıralı bir şekilde monte edildiği farklı istasyonlardan oluşuyorsa ayrıktır. Bir istasyon aynı anda birden fazla işçiyi barındırabilir.
- Bir işçi her istasyonda aynı hızı koruyorsa (aynı süreyi harcıyorsa) sabit hıza sahiptir; aksi takdirde işçi değişken hıza sahiptir.
- Bir ürün tipinin iş içeriği veya emek içeriği, tek bir ürünün montajı için gereken tüm istasyonlardaki toplam montaj süresi olarak tanımlanır.

Canon, Sony, Hitachi, Mitsubishi, Yaskawa, Pioneer ve Cosel gibi şirketler, Dönen Seruların kullanımı konusunda öne çıkan örneklerdir. Özellikle elektronik sektörlerinde yaygın olarak uygulanan bu sistemler, çeşitli üretim ortamlarında etkili sonuçlar vermektedir. Örneğin, Kyushu'daki bir Japon otomobil parçası montaj fabrikası, montaj sürecinde beş farklı istasyon kullanarak üretim hacmindeki dalgalanmalarla başa çıkmak için 2011 yılında DönenSeru'yü devreye almıştır. Canon'un tesislerinde, dönen hatlar genellikle U veya L şeklinde yapılandırılmıştır. Her işçi, gerekli tüm görevleri kesintisiz bir şekilde baştan sona tamamlar; daha hızlı bir işçi, daha yavaş bir işçiyi geçerek çalışmaya devam etmektedir (Asao vd., 2014; Stecke vd., 2012).

Canon, DönenSeru'yu sadece montaj operasyonlarında değil, aynı zamanda depolama işlemlerinde de kullanmaktadır. Depolama alanında, bileşenler iki işçi

tarafından toplanır ve bu süreç, montaj serisindeki düzen ve akışa benzer bir şekilde organize edilmiştir. Bu yöntem, Canon'a özgü olmanın ötesinde, baskı endüstrisi ve Washlet (elektronik bide) üretiminde de gözlemlenmiştir. Her istasyonun uzunluğu, orada gerçekleştirilen iş içeriğinin yüzdesini temsil eder. Örneğin, bir üretim hattı sırasıyla 0,4, 0,3 ve 0,3 uzunluğunda üç istasyondan oluşuyorsa, ikinci istasyonun ortasındaki bir öge, iş içeriğinin 0,55'ini ($0,40+0,15$) tamamlamıştır. Her istasyonun uzunluğu, işçinin üretim hattındaki hızının sabit kalmasını sağlamak amacıyla yeniden ayarlanabilir (Stecke vd., 2012; Liu vd., 2014).

Bir sipariş toplama hattında, bir işçi her istasyondaki kutulardan gerekli ürünleri sırayla alır. Toplama hızını, işçinin deneyimi ve istasyonun yoğunluğu etkiler. Aynı yoğunluktaki istasyonlardan oluşan toplama hattında, işçinin hızı hat boyunca sabit kalır ve deneyime bağlıdır. İstasyon veya bölme yoğunluğu, ürün ekleyerek veya çıkararak ayarlanabilir. Bir bölmenin büyüklüğü, ön alma özelliğini belirler; büyük bölmeler birden fazla toplayıcıyı barındırabilirken, küçük bölmeler bunu gerçekleştiremez (Liu vd., 2013; Lian vd., 2018).

Üretim hatları genellikle karmaşıktır, çünkü işlemler istasyondan istasyona değişiklik gösterebilir ve bu durum istasyonlar arasında farklı hızlara yol açabilir. Ancak bazı durumlarda, her istasyondaki standart hız aynı olabilir.

Dönen Seru modu bu çalışmanın da temelini oluşturduğundan dolayı uygulama kısmında da tanımlanan varsayımlar aşağıdaki gibi gösterilebilir (Liu vd., 2012);

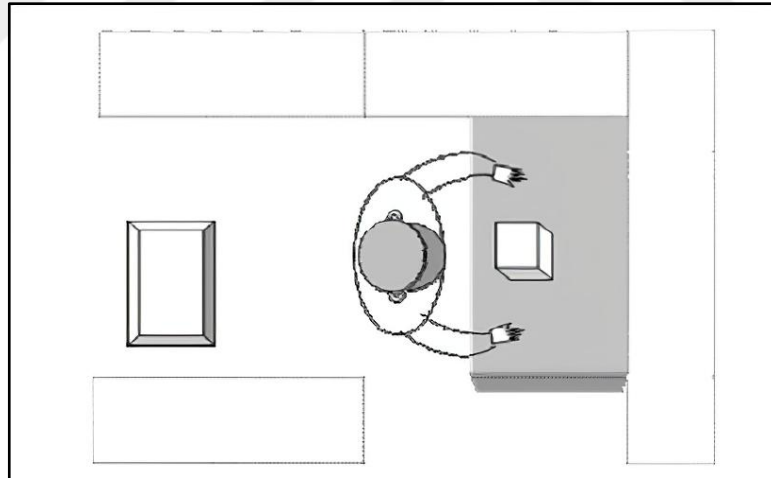
1. Sistemde oluşturulan toplam parti sayısı ve çalışan toplam işçi sayısı belirlenir
2. Sistemin başlangıcında N ürün tipi partiler halinde işlenmeye hazırdır. Her parti sadece bir ürün tipinden oluşmaktadır
3. Partiler arasında herhangi bir bölünme yoktur. Aynı ürünün partisi, aynı partiye atanmış işçiler arasında bölünebilir
4. Her ürün tipi için işlem/görev sayısı belirlenmiştir ve birbirinden farklıdır
5. Her ürün tipi için işlem süresi, atanacağı Seru'ya ve işçilere göre değişir
6. Her ürün tipi için talepler/parti büyüklükleri belirli ve birbirinden farklıdır
7. Partiler dönen Seru sistemine göre işlenmektedir
8. Her hattın kapasitesi (atanabilecek maksimum işçi sayısı) belirlenmiştir

9. Her partiye atanan ürün türleri arasında değişken hazırlık süresi vardır

10. Partiler arasında taşıma yoktur. Belirli bir ürün tipine ait parti, atandığı Seru'da işlendikten sonra çıktı elde edilir.

2.8.3. Yatai Seru

Dönen Seru, sürekli olarak Yatai'ye, yani çalışanın yeteneklerine ve potansiyeline tamamen uyum sağlayan tek bir işçi birimine dönüşebilir. Bu üretim modu, bir çalışanın tüm görevleri tek başına yerine getirmesine olanak tanır. İş istasyonlarına ve gerekli araçlara erişim sağlandığında, çalışan bir iş istasyonundan diğerine geçiş yapmadan çalışabilir. Böylece işçi, diğer işçilerin getirdiği kısıtlamalardan kurtulur ve yeteneğini tam anlamıyla kullanabilir. Yatai'deki işçi, uzun bir süre boyunca tam çoklu beceri eğitimi almalı ve tüm teknik ile yönetim becerilerinde yetkin olmalıdır. Esneklik ve verimlilik, Yatai'nin iki temel özelliğidir. Bu nedenlerle, Yatai bir dereceye kadar mükemmel bir yöntem olarak kabul edilir ve birçok Japon işletmesinde organizasyonel yenilik hedeflerinin bir parçası olarak uygulanmaktadır. Yatai'nin görsel düzeni Şekil 2.8'de gösterilmiştir (Liu vd., 2010: 102; Steckle vd., 2012).



Şekil 2.8. Örnek Bir Yatai Seru

Kaynak: (Liu vd., 2010: 103).

Seru üretimi için uygun ürün tipleri belirlendikten sonra, her bir ürün tipinin süreç özellikleri detaylı bir şekilde incelenir. Bu analiz, seçilen tüm ürün tiplerinin süreç gereksinimlerinin net bir şekilde anlaşılmasını sağlar ve operatörlerin çoklu beceri eğitimi ile Seru üretim sisteminin organizasyonel ve mühendislik tasarımı için bir temel oluşturur. Ayrıca, süreç özelliklerinin analizi, gerekli Seru sayısının belirlenmesine

yardımcı olur; çünkü bir Seru'nun boyutu, kendisine atanan operasyon sayısına bağlıdır. Seru'nun büyüklüğünü etkileyen iki faktör şunlardır (Liu vd., 2014: 7):

2.9.İşçiler ve Çoklu Beceri Eğitimleri

Seru Üretim Sistemi, çalışanların eğitimi ve çoklu beceri gelişimi konusunda sistematik bir yaklaşım benimser. Bu yaklaşım, sistemin operasyonel etkinliğinin temel belirleyicisidir. Geleneksel üretim sistemlerinin aksine Seru, iş uzmanlaşmasından bilinçli olarak uzaklaşır; bunun yerine, montaj hattı operasyonlarından kalite kontrole ve süreç optimizasyonuna kadar üretimin çeşitli aşamalarını entegre şekilde yönetebilen çok yönlü iş gücü yetiştirmeyi hedefler. Sistemin karakteristik özelliği olan bu bütüncül çalışan geliştirme stratejisi hem operasyonel esneklik hem de süreç verimliliği sağlar(Liu vd., 2010; Stecke vd., 2012).

Seru'nun çalışan eğitimi yaklaşımının temelinde sistematik beceri geliştirme prensibi yer alır: Çalışanlara operasyonel yetkinlikler yapılandırılmış bir metodoloji içerisinde aktarılır. Bu eğitim süreci, temel montaj tekniklerinin yanı sıra ekipman kullanımı, kalite kontrol prosedürleri ve süreç optimizasyon metodlarını kapsayan kapsamlı bir müfredatı içermektedir. Söz konusu bütüncül eğitim yaklaşımı, her çalışanın üretim sürecini bağımsız olarak yönetebilmesini sağlayarak, geleneksel yönetici pozisyonlarına olan ihtiyacı minimize eder ve üretim akışlarının etkinliğini artırmaktadır.

Seru sistemlerindeki eğitim metodolojisi, teorik bilgi aktarımı ve uygulamalı öğrenmenin sistematik entegrasyonu ile yapılandırılmıştır. Çalışanlar öncelikle temel yetkinlik geliştirme programıyla başlar, ardından kademeli olarak ileri düzey prosedürlere geçiş yaparlar (Lian vd., 2018). Öğrenme süreci, üretim sisteminin her bileşenini bütüncül şekilde kavrayabilmeleri için farklı operasyonel birimlerde sistematik rotasyonu içerir. Bu rotasyonel öğrenme yaklaşımı, bireysel kapasite gelişiminin yanı sıra, üretim sisteminin farklı unsurları arasındaki etkileşimlerin daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır.

Performans ölçümü ve yetkinlik değerlendirmesi, Seru'nun eğitim sisteminin kritik bileşenleridir. Bu yaklaşımı benimseyen organizasyonlar, her çalışanın çeşitli operasyonel alanlardaki yetkinliklerini sistematik olarak izleyen detaylı beceri matrisleri kullanır (Asao vd., 2014). Bu matrisler hem mevcut yetkinliklerin değerlendirilmesinde

hem de gelecek dönem eğitim ihtiyaçlarının planlanmasında referans görevi görür. Periyodik değerlendirmeler, ek eğitim gerektiren alanları tespit eder ve tüm operasyonel birimlerde tutarlı yetkinlik seviyelerinin sürdürülmesini sağlar

Seru üretim sisteminde uygulanan çoklu beceri eğitimi yaklaşımı çeşitli operasyonel avantajlar sunar. (Liu vd., 2012). Öncelikle, üretim gereksinimlerindeki değişimlere hızlı adaptasyon sağlayabilen esnek bir iş gücü oluşturur. İkinci olarak, montaj hattında oluşabilecek darboğazları elimine eder. Operasyonlar, yetkin personel tarafından optimum zamanlama ile gerçekleştirilebilir. Üçüncü olarak, tüm süreçlere hâkim personelin varlığı, beklenmedik operasyonel sorunların etkin çözümünü mümkün kılar.

Seru eğitim sisteminin uygulanmasında, şirketler çalışanlar arasındaki farklı öğrenme eğrilerini yönetmek, eğitim süresini üretim ihtiyaçlarıyla dengelemek ve tüm çalışanlar arasında beceri seviyelerini tutarlı tutmak zorundadır. Bu sorunlarla başa çıkmak için şirketler genellikle yeni eğitilen çalışana resmi olarak mentorluk yapan bir eğitim programı oluşturur (Afshar-Nadjafi, 2021). Ayrıca düzenli beceri değerlendirmeleri ve çalışanların belirli alanlardaki iyi performansının ödüllendirildiği planlar da mevcuttur. Bu destekleyici mekanizmalar, eğitimin etkin kalmasını ve çalışanların yeni beceriler öğrenme motivasyonlarını sürdürmelerini sağlamak için tasarlanmıştır.

Seru'nun eğitim sistemleri en son teknikleri ve yöntemleri bünyesine katmaktadır. Sanal gerçeklik eğitim simülasyonları, yapay zekâ tabanlı beceri değerlendirmeleri ve yüksek performanslı takip sistemleri, geleneksel eğitim programlarına entegre edilmektedir. Bu teknolojik katkılar, Seru'yu başarılı kılan çoklu beceri geliştirmenin temel bilgeliğini korurken tüm eğitim sürecini düzene sokmaya hizmet etmektedir (Yu ve Tang, 2019).

Seru sisteminde çalışan eğitiminin başarısı, sürekli öğrenmeyi ve değişimin iyileştirmeler getirebileceği anlayışını teşvik eden bir atmosfer yaratmaya bağlıdır. Şirketler, çalışanlarının becerilerini genişletme ve artan sorumluluklar alma konusunda kendilerini özgür hissettikleri bir ortam yaratmalıdır. Bu kültürel yön, yıllık yapılandırılmış eğitim programları ve düzenli beceri değerlendirmeleriyle birlikte, üretim sistemlerinin modern üretimin değişken talepleriyle uyum içinde verimli ve esnek kalmasını sağlamaktadır (Bortolini ve Galizia, 2022).

Literatür, Seru üretim sistemlerinde esneklik, dinamizm ve yüksek performans sağlama noktasında insan işçilerin kritik bir rol oynadığını vurgulamaktadır (Stecke vd., 2012; Ayough vd., 2020; Bortolini ve Galizia, 2022). Seru'lar, işçilerin operasyonel ve yönetsel sorumluluklar aldığı işçi temelli üretim sistemleridir. Bu bağlamda, sürekli çoklu beceri eğitimler ve değerlendirmeler, Seru üretiminin ve genel olarak yalın üretim felsefesinin önemli hedefleri arasında yer almaktadır (Lolli vd., 2016; Afshar-Nadjafi, 2021).

Ying ve Tsai (2017), Seru üretim sistemlerinde çok vasıflı işçi eğitimi ve atamasına odaklanarak, toplam eğitim ve dengeleme maliyetlerini minimize etmeye yönelik stratejiler geliştirmişlerdir. Benzer şekilde, Wu vd. (2018), Seru konfigürasyonlarını karşılaştırarak bölünmüş ve dönen Serularda çoklu beceri eğitilmiş işçi atama problemini sayısal deneylerle incelemiştir. Liu vd. (2021) ise, çoklu beceri eğitilmiş işçilerin Seru üretiminde önemli bir rol oynadığını vurgulayarak, bölünmüş ve dönen Seruların bir arada bulunduğu hibrit Seru üretim sistemleri için bir model formülasyonu ve NSGA-II tabanlı bir memetik algoritma önermiştir. Son olarak, Torkul vd. (2022), işçiler, aletler ve üretim ortamı gibi üretim süreci faktörlerinin gerçek zamanlı izlenmesi ve kontrol edilmesi için derin öğrenmeye dayalı bir kavramsal model geliştirmiştir. Bu araştırmalar, işçilerin becerilerinin sınıflandırılmasında görev türleri, ürün çeşitliliği ve çalışma hızları gibi ölçütlerin dikkate alınmasının önemine işaret etmektedir (Luo vd., 2016; Yu vd., 2018; Yu ve Tang, 2019; Bortolini ve Galizia, 2022).

Bu kapsamda, Seru üretim sistemlerinde çalışanların beceri çeşitliliği ve bu becerilerin yönetimi, sistemin başarısı için kritik öneme sahiptir. Farklı görevler, ürünler ve çalışma hızlarına göre işçilerin doğru şekilde eğitilmesi ve atanması, üretim sürecinin verimliliğini ve esnekliğini artırmaktadır.

Seru üretim sisteminin etkin bir şekilde uygulanabilmesi için, çok vasıflı operatörler kritik bir role sahiptir. Seru üretiminde, operatörlerin iş zenginleştirme ihtiyaçları etkin bir şekilde karşılanmakta ve Seru üretimini insan merkezli bir üretim modeli haline getirmektedir. Bu bağlamda, çok vasıflı operatörlerin eğitimi ve gelişimi, üretim sisteminin başarısı için hayati öneme sahip olmaktadır (Yu ve Tang, 2019).

Seru üretiminde, operatörlerin yetkinlik seviyeleri artırılarak tam vasıflı operatörler haline getirilmesi, fabrikanın en değerli kaynaklarından biri haline gelir.

Özellikle Canon gibi büyük firmalarda, operatörler“S sınıfı” olarak adlandırılan en yüksek beceri seviyesine ulaştıklarında cömert ücretler ve ödüller alırlar. Bu, işçilerin motivasyonunu artırır ve yeteneklerini geliştirmeye teşvik eder (Yu vd., 2018).Tablo 2.4’de işçilerin çoklu beceri eğitimi için temel adımları açıklamalarıyla beraber detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 2.4.İşçilerin Çoklu Beceri Eğitimiİçin Temel Adımlar

Adım	Açıklama
1. Beceri Değerlendirmesi	Mevcut işçilerin beceri setlerinin değerlendirilmesi. Bu değerlendirme, çoklu beceri eğitimihtiyaçlarını belirlemek için kullanılır.
2. Eğitim Planı Geliştirme	İşçiler için özelleştirilmiş eğitim planlarının hazırlanması. Bu planlar, işçilerin yeni beceriler kazanmasına ve mevcut becerilerini geliştirmesine olanak tanır.
3. Pratik Uygulama	Eğitim sürecinin pratik kısmı. İşçiler, farklı iş istasyonlarında çalışarak çeşitli görevlerde deneyim kazanır.
4. Değerlendirme ve Geri Bildirim	Eğitim süreci boyunca işçilerin performanslarının düzenli olarak değerlendirilmesi ve geri bildirim sağlanması. Bu, işçilerin gelişim alanlarını belirlemelerine yardımcı olur.
5. Sürekli Eğitim ve Gelişim	Çoklu beceri eğitimin devam eden bir süreç olarak işçilerde sürekli yeni becerilerin öğrenilmesi ve mevcut becerilerin güncellenmesi teşvik edilir.

Kaynak: (Liu vd. 2021).

Tablo 2.4’de tanımlanan adımlar detaylandırıldığında:

- *Eğitim için gerekli becerileri belirlemek*

Seru üretim sisteminin temel amacı, yüksek çeşitlilik ve düşük hacimli pazar taleplerine etkili bir şekilde yanıt vermektir. Bu bağlamda, çeşitlendirilmiş parti büyüklükleri ile teknoloji uzmanları ve yöneticiler, ürünleri görevler açısından analiz etmeli ve ardından bu görevlerin belirli operatörlere atanmasını netleştirmelidir. Teknologlar ve yöneticiler, her operatörün ürünleri verimli bir şekilde üretebilmesi için görevlerini açıkça anlayabilmesini sağlamak amacıyla operatörlerle kapsamlı bir iletişim kurmalıdır. Seri üretime kıyasla, Seru üretiminde her bir operatörün görev kapsamı çok daha geniştir. Eğer fabrika, bir operatörü eğitmek için bölünmüş Seru modelini benimsiyorsa, eğitim süreci mevcut uzmanlık alanına dayalı olarak görev kapsamını bitişik alanlara genişletmeye odaklanmalıdır. Eğer fabrikalar tarafından dönüşümlü Serular veya Yatai modelini uygulaniyorsa, eğitim tüm üretim sürecinde gerekli olan becerilerin tamamını kapsamalıdır (Lolli vd., 2016; Wu vd. 2018).

- ***Belirgin hedefler belirlemek***

Sorunsuz bir üretim sürecini sağlamak için, önceden belirlenmiş bir program ve kalite hedefi doğrultusunda yöneticiler, her operatöre planlanan teslimat süresi ve ürün kalitesi gerekliliklerine uygun olarak bireysel hedeflerini açıkça bildirmelidir. Örneğin, belirli bir beceri seviyesinde ne zaman uzmanlaşılması gerektiği gibi hedefler net bir şekilde ifade edilmelidir. Operasyon dengeleme amacı, özellikle Bölünmüş ve Dönen Serular için operatörlere açıklanmalıdır. Bölünmüş Serular ve Yatai sisteminde, hassas ürünlerin işlenmesi gerektiğinde, çoklu beceri eğitimi sırasında görev hassasiyeti kriteri operatörler tarafından net bir şekilde anlaşılmalıdır. Genel olarak, üretim talebine göre eğitim hedefleri, yöneticiler tarafından belirlenir. Operatörlerin motivasyonunu artırmak ve verimliliklerini güçlendirmek için yöneticiler, her operatörle birebir iletişim kurarak özel hedefler belirlemelidir. Bu tam iletişim, yöneticilerin operatörlerin görüş ve yeteneklerini anlamalarını sağlarken, operatörlerin de kendi hedeflerine ulaşma konusunda daha istekli olmalarına katkıda bulunur (Liu vd., 2021; Torkul vd., 2022).

- ***Kapsamlı bir eğitim planı oluşturmak***

Çoklu beceri eğitim faaliyetlerinin sorunsuz ve başarılı bir şekilde yürütülmesi için kapsamlı bir eğitim planı şarttır. Çoklu beceri eğitim planının uygulanmasının

gerçek zamanlı gözetimi ve kontrolü gereklidir. Bir sapma tespit edildiğinde düzeltici önlemler alınmalıdır. Bir fabrika Seru üretimini uygulamaya karar verdiğinde bir çoklu beceri eğitim planı yapılmalıdır. Seru üretimini uygulamak için ürün ve süreç özelliklerinin analizi tamamlandıktan sonra, temel beceriler için eğitim mümkün olduğunca erken başlatılmalıdır. Organizasyonun tasarımı ve bir Seru üretim sisteminin mühendisliği aşamalı olarak başlatıldığından, gerçek hayat senaryolarına dayalı eğitim ve yönetim bilgisi odaklı eğitim de gerçekleştirilmelidir. Fabrikaların sürekli değişen pazar talepleriyle başa çıkmalarına yardımcı olan çoklu beceri eğitim sürekli olarak teşvik edilmelidir (Yu ve Tang, 2019; Bortolini ve Galizia, 2022).

- ***Etkili çoklu beceri eğitim yöntemleri seçmek***

Beklenen sonuçların uygulamada elde edilememesinin bir nedeni de mükemmel olmayan çoklu beceri eğitim yöntemleridir. Yeni operatörler için, çoklu beceri eğitim için sınıflara katılmak yerine uygun kitaplardan ve çalışma kitaplarından öğrenmek daha iyidir. Bir kitaptaki ayrıntılı diyagramlar, gerekli işlemlerin nasıl hazırlanacağını anlamaya yardımcı olur. Sadece teorik eğitim yerine, gerçek hayat senaryolarına dayalı eğitime ağırlık verilmelidir. Üretimdekilere benzer yaşam serileri kurmayı göze alabilen fabrikalar için operatörler bu eğitim serilerinde çoklu beceri eğitime tabi tutulmalıdır. Üretim maliyetini düşürmek ve teslimat süresini kısaltmak için, iş başında eğitim genellikle bazı basit operasyonlar için kullanılır. Operatörlerin eğitim gerekliliklerini kısa sürede karşılayamadığı bazı karmaşık operasyonlar için, işbaşı eğitiminin uygulanması temelinde iş dışı eğitimin zamanında gerçekleştirilmesi uygun ve etkilidir (Wu vd. 2018; Liu vd., 2021).

- ***Gelişmiş eğitim yaklaşımlarını kullanmak***

Seru üretim sisteminde, operatörler yalnızca normal operasyon görevlerini yerine getirmekle kalmaz, aynı zamanda belirli yönetim ve sorun çözme işlevlerinden de sorumludur. Bu nedenle, operatörlerin eğitimi, sadece işletim yöntemlerine değil, aynı zamanda bu yöntemlerin amacını ve anlamını da kapsamalıdır. Bu yaklaşım, geleneksel (know-how) eğitiminin, yani teknik bilgi ve becerilerin öğretildiği eğitimin, (know-why) (neden ve nasıl bilgisi) eğitimiyle, yani süreçlerin neden ve nasıl işlediğini anlamaya yönelik bir eğitimle desteklenmesi gerektiğini vurgular (Liu vd., 2021; Bortolini ve Galizia, 2022).

Geleneksel (know-how) eğitimi, operatörleri teknik bir perspektiften belirli işletim yöntemlerinde ustalaşmaları için eğitirken, (know-why) eğitimi operatörlerin, yaptıkları işin arkasındaki amaç ve süreçleri anlamalarını sağlar. Bu tür eğitim, özellikle seri üretim yapmak isteyen, değişen pazar taleplerine yanıt vermek ve sürekli iyileştirme süreçlerini uygulamak zorunda olan fabrikalar için kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, çok vasıflı operatörlerin çoklu beceri eğitimi, kısa vadeli değil, uzun vadeli bir bağlılıkla gerçekleştirilmelidir (Ayough vd., 2020).

Diğer üretim modları ile karşılaştırıldığında, çok vasıflı operatörler için çoklu beceri eğitim yatırımı daha büyüktür. Seri üretimi uygulayan fabrikalar, bu eğitime önem vermeli ve bunu stratejik bir görev olarak görmelidir. Üst düzey yöneticilerin, bu tür bir eğitime yeterli önemi vermesi, fabrika verimliliğini artırmak ve rekabet avantajı sağlamak için hayati bir gerekliliktir. Literatürde yapılan araştırmalar, iş eğitiminin çalışanlar için değerli olduğunu ve iş tatmini üzerinde olumlu etkiler yarattığını göstermektedir. Seru üretim sistemini uygulayan fabrikalar, iş eğitimi faaliyetlerinin çalışan memnuniyetini önemli ölçüde artırdığını kanıtlamıştır (Wu vd., 2018).

Bununla birlikte, çok vasıflı operatörler için çoklu beceri eğitim yürütülürken dikkat edilmesi gereken bazı zorluklar da vardır. Bu tür bir eğitim, operatörlerin ya daha fazla beceriye sahip olmalarını ya da mevcut becerilerini daha üst seviyelere taşımalarını gerektirir. Bu durum, operatörler üzerinde ek baskı ve stres yaratabilir. Kariyer gelişimi konusunda isteksiz olan operatörler, çoklu beceri eğitime direnç gösterebilir. Bu tür olumsuz tutumlar ve sorunlar, eğitim sürecinin başarısını olumsuz etkileyebilir. Dolayısıyla, yöneticiler, bu tür sorunlarla zamanında yüzleşmeli ve çözümler üretmelidir.

Japon Seru üretim sistemi, geleneksel üretim modellerinden farklı olarak, daha esnek, hızlı ve verimli bir üretim anlayışını benimser. Bu sistemde, hazırlık sürelerinin azaltılması büyük önem taşır, çünkü küçük partiler ve hızlı değişen müşteri talepleriyle başa çıkabilmek için yüksek düzeyde esneklik gereklidir. Bu esneklik, Seru üretim sisteminin temel avantajlarından biri olup, rekabetçi bir piyasada başarılı olmak için kritik bir faktördür. Seru üretim sisteminde hazırlıkların nasıl yapılabileceğine dair bazı temel adımlar şu şekilde tanımlanabilir (Liu vd., 2021; Bortolini ve Galizia, 2022; Wu vd., 2018).

1. SMED (Tekli Dakikalarda (10 Dakikadan Az) Kalıp Değişimi- Single-Minute Exchange of Die) Tekniği: SMED, Hazırlık sürelerinin azaltılmasına odaklanan bir yaklaşımdır. İlk aşamada iç ve dış sürelerin belirlenmesi, ardından iç sürelerin azaltılması için gerekli adımların planlanması ile hızlı makine ayarları sağlanmaktadır.

2. Esnek Üretim Seruları: Geleneksel üretim bantlarının yerine kullanılan, belirli ürün veya ürün gruplarının üretimini gerçekleştirebilen, özerk yönetim yeteneğine sahip ve esneklik sunan modüler üretim birimleridir.

3. Paralel Çalışma ve Eşzamanlı İşlemler: Esnek üretim hücrelerinde, bir birimde üretim devam ederken diğer birimlerde hazırlık işlemlerinin yapılabilmesi ile toplam üretim süresi optimize edilebilmektedir.

4. Standart İş İşlemleri ve Kontroller: Her üretim hücresi için oluşturulan standart iş süreçleri ve kontrol mekanizmaları, hücre içi operasyonların düzenli ve öngörülebilir olmasını sağlamaktadır.

5. Eğitim ve Yetkinlik Geliştirme: Operatörler ve diğer personelin esnek üretim hücrelerinde etkin çalışabilmeleri için eğitim programları düzenlenmektedir. Çalışanların çoklu beceri edinmeleri ve hızlı uyum sağlamaları kritik önem taşımaktadır.

6. İzleme ve Veri Analitiği: Esnek üretim hücrelerinde kurulan veri izleme ve analiz sistemleri, süreç performansının değerlendirilmesine ve sürekli iyileştirme alanlarının belirlenmesine olanak sağlamaktadır.

7. Kaizen ve Sürekli İyileştirme: Kaizen ilkeleri doğrultusunda sürekli iyileştirme kültürünün teşvik edilmesi amaçlanmaktadır. Operatörler ve yöneticiler, süreçleri düzenli olarak değerlendirmeli ve iyileştirme önerileri geliştirmelidir.

8. Esnek Üretim Teknolojileri: Otomasyon ve dijital teknolojilerin entegrasyonu ile esnek üretim süreçleri desteklenmektedir. Modern teknolojiler, esnekliğin artırılmasına ve hazırlık sürelerinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır.

2.10. Seru Üretim Sistemi Temelli Literatür İncelemesi

Seru üretim sistemi, son yıllarda özellikle Japon üretim sektöründe geliştirilen yenilikçi bir üretim yaklaşımıdır. Bu bölümde, Seru üretim sisteminin gelişimi, özellikleri ve geleneksel üretim sistemlerinden farklılaşan yönleri üzerine yapılan akademik çalışmalar kronolojik olarak incelenmektedir. Literatür taraması kapsamında,

sistemin ortaya çıkışından günümüze kadar olan süreçteki temel araştırmalar ve bulgular ele alınmaktadır.

Shinohara (1997), çalışmasında Seru üretim sisteminin Japonya'da nasıl ortaya çıktığını ve geliştiğini açıklamaktadır. Shinohara, Seru'nun kökenlerine dair temel bir bakış sunmuştur.

Imaoka (2005), çalışmasında Seru üretim sistemine geniş bir perspektiften yaklaşarak, sistemin tüm özelliklerini detaylı bir şekilde ele almıştır.

Takeuchi (2006), bu çalışmasında Seru üretim sisteminin temel özelliklerini açıklamış ve bu sistemin geleneksel montaj üretiminden nasıl farklılaştığını ortaya koymuştur.

Liu vd. (2010), Japonya'daki üretim yönetimi modlarının yeniliklerinden biri olan Seru üretim sistemini dünya çapında tanıtmak amacıyla çalışmışlardır. Çalışmada, Seru üretiminin kökenleri, geleneksel hücre üretimi ile farkları, avantajları ve dezavantajları incelenmiştir.

Lordelo vd. (2012), esnek üretim yöntemlerinin firmaların ürünlerinde özelleştirme sağlayarak verimliliği nasıl artırabileceğini anlamayı amaçlamışlardır. Çalışmada, yalın üretim ve Seru gibi sistemlere odaklanarak bir referans modeli geliştirilmiştir.

Liu vd. (2012), konveyör montaj hattının Seru üretim hücrelerine nasıl yeniden yapılandırılacağını araştırmış ve kapsamlı bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Bu model, hücre kurulumu ve işçi atamasını içermekte olup, sonuçlar geleneksel montaj üretimine kıyasla daha olumlu bulunmuştur.

Liu vd. (2013), Seru üretiminde çok vasıflı işçilerle ilgili konuları ele almışlardır. Çoklu amaca sahip bir matematiksel model formüle edilerek, eğitim maliyetlerini en aza indirme ve işlem sürelerini dengeleme hedeflenmiştir.

Villa ve Taurino (2013), çalışmasında JIT'den Seru üretimine evrimi inceleyerek, Seru'nun Toyota Üretim Sistemi'nden türediğini ancak Japonya dışında çok az tanındığını belirtmişlerdir. Seru'nun, değişken iş ortamları için uygun bir üretim organizasyonu olarak geliştirildiğini vurgulamışlardır.

Liu vd. (2014a), Seru üretiminin uygulanması için pratik bir çerçeve ve temel ilkeler sunmuşlardır. Çalışma, Seru üretiminin Japon imalat fabrikalarındaki uygulama deneyimlerini ve literatürü kapsamlı bir şekilde incelemektedir.

Yu vd. (2014), Hatt-Seru dönüşümünün performansını araştırmak amacıyla çok amaçlı bir optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Çözümler, genetik algoritmalar kullanılarak değerlendirilmiş ve modelin etkinliği doğrulanmıştır.

Liu vd. (2014b), Seru üretim sistemleri altında üretim planlama problemini ekonomi ve çevre performans ölçütleri açısından ele almışlardır. Karbondioksit emisyonunu en aza indirmeyi hedefleyen bir matematiksel model önerilmiştir ve sonuçlar modelin etkinliğini doğrulamıştır.

Yu vd. (2016), Seru üretiminden esinlenerek bir montaj hattının Serulu ve kısa hatlı hibrit bir sisteme dönüştürmenin temel ilkelerini araştırmışlardır. Çalışma, bu dönüşümün başarıyla uygulanmasına dair prensiplere odaklanmıştır.

Zhang vd. (2016), Seru üretiminin çevresel ve sosyal performansını inceleyerek, temel kolaylaştırıcı teknolojilerin sürdürülebilir performansa etkilerini araştırmışlardır. Çalışma, Seru üretimi için dört temel teknolojinin sürdürülebilir performans üzerindeki etkilerini ortaya koymuştur.

Yu vd. (2016a), kısa ürün yaşam döngüleri ve belirsiz ürün türleri olan iş ortamlarında, geleneksel montaj hattını Seru sistemine dönüştürmenin verimliliği artırabileceğini belirtmişlerdir. Çalışma, çok amaçlı hat-Seru dönüşümünün Pareto-optimal çözümlerini elde etmek için iki gelişmiş algoritma geliştirmiştir.

Yu vd. (2016b), geleneksel montaj hattına kıyasla Seru üretiminin işçi sayısını azaltarak üretim süresini kısaltabileceğini, ancak iki hedef aynı anda değerlendirildiğinde üretim süresinin artabileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada, üretim süresini artırmadan işçi sayısını azaltmak için hat-Seru dönüşümüne yönelik matematiksel modeller ve algoritmalar geliştirilmiştir.

Kaku (2016), Seru üretim sisteminin veri tabanını oluşturma yöntemini tartışmış ve bu yöntemin performansını göstermek için basit bir örnek sunmuştur. Gelecekte yapılması gerekenler de sıralanmıştır.

Ying ve Tsai (2016), Seru Üretim Sistemi'nin çok vasıflı işçi eğitimi ve ataması ile ilgili sorunlarını ele almışlardır. Üretim verimliliğini ve esnekliğini artırmak amacıyla işçilerin eğitim maliyetini ve işlem sürelerini dengelemeyi hedefleyen matematiksel bir model ve iki aşamalı bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir.

Sun vd. (2016), Hat-Seru dönüşümünü değerlendiren mevcut modelleri özetleyip, entegre bir çerçeve geliştirerek çeşitli tek amaçlı modelleri formüle

etmişlerdir. Bu çerçeve, hat-Seru dönüşümünün çözüm uzayını analiz etmek için geliştirilmiştir.

Kaku vd. (2017), Seru üretim sistemlerini tanımlamak için operasyonel şemalar kullanmış ve doğruluğunu kanıtlamak için bir kümeleme yaklaşımı geliştirmişlerdir. Ayrıca, Seru üretim sistemi hakkında yayınlanmış literatürü toplayarak genel bir tarama yapmışlardır.

Yin vd. (2017), üretim sistemlerini Endüstri 2.0'dan 4.0'a kadar ele almış ve talep boyutları ile müşteri talepleri arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Seru ve Toyota Üretim Sistemi arasındaki karşılaştırmalara yer verilmiş ve Endüstri 4.0 için Seru prensiplerinin potansiyel uygulamaları tartışılmıştır.

Singh (2017), montaj hattının uzun süredir değişmediğini savunarak, yüksek teknoloji ürünlerinin çeşitlenmesi ve kısa yaşam döngüleri nedeniyle Japon şirketlerinin Seru yöntemine geçişini incelemiştir. İki hatlı dönüşümün performansını araştıran çok amaçlı bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir.

Kaku (2017), Seru üretim sistemlerinin sürdürülebilirlik raporları ile karşılaştırılmasını yaparak, Seru'nun sürdürülebilir özelliklerini değerlendirmiştir. Vaka çalışmaları yardımıyla Seru uygulama performansının ölçülmesini tartışmıştır.

Yin vd. (2017), elektronik sektöründeki yüksek sermaye ve işgücü maliyetleri ile hızlı teknolojik değişimlerin, üreticileri düşük maliyetli kaynaklara yönlendirdiğini belirtmişlerdir. Ancak, bu dinamik koşullar, yeni bir üretim sistemine ve hücresel montaj yaklaşımına yol açmıştır. Çalışma, Sony ve Canon gibi büyük elektronik firmalarının Seru üretim sistemini nasıl uyguladıklarını ve bunun üretkenlik, kalite ve esneklik üzerindeki etkilerini incelemektedir. Ayrıca, Seru'nun yalın üretim, seri üretim ve grup teknolojisi gibi üretim sistemlerine dayalı uzantıları ve sapmaları tartışılmaktadır.

Wu vd. (2018), işçi görev ataması altında iki tür Seru'nun çıktı performansını karşılaştırmışlardır. Çoklu beceri eğitilmiş işçi atama problemini dikkate alarak maksimum çıktı ve iş yükü dengesini hedefleyen yeni modeller geliştirilmiştir. Sonuçlar, Bölünmüş Seru'nun veriminin Dönen Seru'dan daha iyi olduğunu ve dönüşümlü Seru'nun performansının, Bölünmüş Seru'ya yakın işçi sayısına sahip olduğunda daha iyi olduğunu göstermiştir.

Abdullah (2018), klasik montaj hattı ile Seru'yu işçilerin beceri seviyeleri açısından karşılaştırmıştır. Çalışma, işçiler arasındaki beceri çeşitliliği yüksek olduğunda klasik montaj hattının daha iyi bir seçim olduğunu, beceri dikkate alınmadığında ise Seru'nun daha iyi olduğunu bulmuştur. Ayrıca, beceri dikkate alındığında, Seru ve klasik montaj hattından oluşan hibrit sistemlerin birlikte var olabileceği savunulmuştur.

Aboelfotoh ve Abdullah (2018), bu çalışmada klasik montaj hattı ve Seru'nun sürekli talep ortamında uygulanabilirliğini incelemişlerdir. Sinir ağı modeli kullanarak işçi beceri seviyeleri ile strateji seçimi arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Model, hangi stratejinin daha yüksek çıktı oranı üreteceğini tahmin etmek amacıyla kullanılmıştır. Sonuçlar, klasik montaj hattı ve Seru stratejisinin ne zaman kullanılacağına dair bir kılavuz sağlamıştır.

Yu vd. (2018), bu çalışmada Seru üretim sisteminde iş yükü dengesini iyileştirmeyi hedefleyen bir dengeleme yaklaşımını incelemişlerdir. Seru sistemi dengesini tanımlamış ve her iki dengelemenin alt ve üst sınırlarını teorik olarak geliştirmişlerdir. Bu dengeleme yaklaşımları, iş yükü dengesini ve Seru'lar arasındaki dengeyi değerlendirmek için kullanılmıştır.

Wang ve Tang (2018), belirsiz talep altında Seru üretim sistemi oluşturma sorununu ele almış ve sistem maliyetini minimize etmek ile hizmet seviyesini maksimize etmek amacıyla çok amaçlı bir optimizasyon modeli geliştirmiştir. Modeli çözmek için Baskın Olmayan Sıralama Genetik Algoritması II (NSGA-II) kullanılmıştır.

Lian vd. (2018), bu çalışmada üretim sistemlerinin esnekliğini, işçilerin beceri ve vasıf seviyelerini dikkate alarak Seru üretim sistemleri bağlamında çok vasıflı işçi atama problemini çözmüşlerdir. Çalışma, işçi gruplama, hücre yükleme ve görev atamasını eş zamanlı olarak ele alan matematiksel bir model önermekte ve bu modeli doğrulamak için sayısal bir örnek sunmaktadır.

Zwierzyński ve Ahmad (2018), Seru üretim sisteminin etkinliğini kontrol etmek için SIMUL8 yazılımıyla basit bir simülasyon modeli sunmuşlardır. Simülasyon, Seru üretim sisteminin geleneksel montaj hattına kıyasla üretim miktarı, toplam maliyet, işçi verimliliği, envanter seviyesi, bekleme süresi ve sistemdeki ortalama süre açısından daha iyi sonuçlar sağladığını göstermiştir.

Ibrahim vd. (2019), Seru üretim sistemlerinde sürdürülebilirlik performansındaki dengesizliklerin çevre kirliliği ve sosyal zarara yol açtığını savunmuşlardır. Bu çalışmada, sürdürülebilir bakımın sürdürülebilir üretim uygulamalarına entegre edilmesiyle Seru üretiminde ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik arasında bir denge sağlanması amaçlanmıştır.

Ren ve Wang (2019), konveyör montaj hatlarının Seru üretimine dönüşümünü değerlendirmişlerdir. Çalışma, dönüşümün ortalama bekleme kuyruğu uzunluğundaki değişimi nasıl etkilediğini ve dönüşümün küçük parti üretiminde bekleme süresini azaltabileceğini araştırmıştır. Ayrıca, dönüşümün ortalama bekleme kuyruğu uzunluğunu etkileyen parametreler arasındaki ilişkileri incelemiştir.

Wang ve Peng (2019), Yatai, DönenSeru, bölünmüş Seruve grup teknoloji hücreli üretim sistemlerini inceleyerek 81 hücreli üretim uygulama vakasını toplamışlardır. Modüler mimariye sahip ürünlerin Seru üretim ile uygulanma olasılığının daha yüksek olduğu ortaya konulmuştur.

Yu ve Tang (2019), Seru üretimini, Japon elektronik endüstrisindeki uygulama örneklerinden yola çıkarak gözden geçirmişlerdir. Çalışma, Seru üretiminin arka planını, özelliklerini, türlerini ve işleyişini özetlemiş, ayrıca Seru üretiminin faydaları ve uygulama alanlarını tartışmış ve diğer üretim sistemleriyle karşılaştırmıştır.

Yılmaz (2020), Seru üretim sisteminde işgücü çizelgeleme problemini araştırmış ve dört farklı senaryo oluşturmuştur. Senaryolar için ayrı algoritmalar tanımlamış ve Genetik Algoritma tabanlı optimizasyon problemleri oluşturmuştur. Serular-arası işçi transferinin üretim süresinde önemli bir azalmaya yol açtığını tespit etmiştir.

Sarı (2020), Seru üretim sisteminin temel özelliklerini ele almıştır. Çalışma, Seru'nun çeşitlerini, kullanım alanlarını, avantajlarını ve dezavantajlarını inceleyerek esneklik ve verimlilik üzerine vurgu yapmıştır.

Tüzemen (2020), Seru üretim sistemini temel alan geniş bir literatür taraması sunmuştur. Çalışma, Seru'nun nasıl ortaya çıktığı, türleri, özellikleri, avantajları ve dezavantajları hakkında detaylı bilgiler sağlamıştır.

Zhang vd. (2021a), Seru üretim sistemindeki çizelgeleme problemini inceleyerek karma tamsayılı programlama ve mantık tabanlı Benders ayrıştırma yöntemi kullanarak yüksek kaliteli çizelgeler oluşturmayı amaçlamıştır. DeJong'un öğrenme etkisini dikkate alarak üretim teslim sürelerini minimize etmeyi hedeflemiştir.

Zhang vd. (2021b), Seru üretim sisteminin güvenilirliğini değerlendiren bu çalışmada, Seru ve geleneksel montaj hattı arasındaki güvenilirliği karşılaştırmış ve Seru sistemlerinin daha güvenilir olduğunu göstermişlerdir.

Jiang vd. (2021), Seru üretim sistemindeki toplam bekleme süresini, bekleme süresindeki toplam mutlak farkları ve toplam yükün minimizasyonunu içeren üçlü programlama problemine odaklanmışlardır. DeJong öğrenme etkisi ve gerçek işlem süresi dikkate alınarak polinom zamanda çözülebilen genel bir kesin çözüm yöntemi önermişlerdir.

Luo vd. (2021), işçi atamalı bir Seru yükleme problemi için iki seviyeli bir programlama modeli geliştirmişlerdir. Üst seviyede işçi atamasının toplam boş zamanı minimize etmesi, alt seviyede ise ürün tahsisini optimize etmesi hedeflenmiştir. Model ve SA-GA algoritmasının pratikliği iki sayısal örnek ile doğrulanmıştır.

Wang vd. (2021a), Seru üretim sistemindeki atama ve çizelgeleme problemlerine odaklanarak iki amaçlı doğrusal olmayan bir model geliştirmişlerdir. Modelin çözümü için küme analizi ve Genetik Algoritma kombinasyonu kullanılmış ve sayısal örneklerle etkinliği doğrulanmıştır.

Çalışkan vd. (2021), Seru üretim sistemlerinde işçi ve iş yükü planlaması için yeni bir karma tamsayılı matematiksel model ve mat-sezgisel algoritma önermişler ve gerçek uygulama verileriyle etkinliği karşılaştırmışlardır.

Feng Liu vd. (2021), dinamik, çok amaçlı NSGA-II tabanlı bir algoritma önererek Dönen Seru üretim problemini çözmeyi hedeflemişlerdir. Algoritmanın performansı diğer son teknoloji ürünleriyle karşılaştırılmıştır.

Sarı ve Erdem (2021), Seru üretim sisteminin konfeksiyon endüstrisindeki kullanımını ve faydalarını açıklamış, farklı üretim sistemlerini karşılaştırarak Seru'nun etkinliğini vurgulamışlardır.

Wang vd. (2021b), seri üretim sisteminde işçi atama ve çizelgeleme problemini çok amaçlı bir modelle ele almışlardır. K-ortalamlar ve Yapay Arı Kolonisi algoritmaları kullanılarak pratikliği ve etkinliği sayısal örneklerle gösterilmiştir.

Zhe vd. (2021), Bölünmüş Seru üretim sisteminde çok vasıflı işçi atama ve sipariş kabul problemini iki hedefli programlama modeli ile çözmüşlerdir. SA ve NSGA-II kombinasyonu kullanılarak geliştirilmiş bir hibrit genetik algoritma önerilmiştir.

Chang Liu vd. (2021), üretim esnekliği kaynak faktörlerini ve firma performansına etkilerini durumsallık temelli bir çerçevede araştırmışlardır. Seru yeniden yapılandırmasının ve çok vasıflı işçi katılımının firma performansını artırmada etkili olduğunu ortaya koymuşlardır.

Forero ve Guio (2021), heterojen işçiler ve enerji tüketimi dikkate alınarak bir üretim çizelgeleme problemi önermişlerdir. İşçi ve Seru arasındaki üretim süresini dengelemeyi ve enerji tüketimini minimize etmeyi amaçlayan bir model geliştirilmiştir.

Wu vd. (2021), hibrit Seru oluşumu, Seru çizelgeleme ve akış hattı çizelgeleme problemlerini içeren bir optimizasyon problemi üzerinde çalışmışlardır.

Zhao-yang vd. (2021), toplam tamamlanma süresi ve toplam işçi sayısını minimize etmek amacıyla ürün ve birim eşleştirme ilişkisini dikkate alarak Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) yöntemini kullanmışlardır.

Shan vd. (2022), Çinli bir elektronik montaj şirketinde montaj hattı-Seru dönüşümünün pratik uygulamasını araştırmış ve en gelişmiş dönüşüm modunu belirlemek için meta-sezgisel modeller kullanmışlardır.

Zhang vd. (2022a), DeJong'un öğrenme etkisini dikkate alarak verimlilik, esneklik ve yanıt verebilirlik elde etmeyi amaçlayan bir çizelgeleme problemi ele almışlardır.

Fujita vd. (2022), talep belirsizliği altında çok ürünlü Seru üretim sistemleri için bir işçi ve üretim miktarı tahsis optimizasyon yöntemi geliştirmişlerdir. Bu yöntemi Monte Carlo tekniği ile formüle etmişlerdir.

Li vd. (2022), çok amaçlı Seru üretim sistemlerinin optimal global çözümünü elde etmek için Master-Slave mekanizmasına sahip bir işbirlikçi evrim algoritması geliştirmişlerdir.

Liu vd. (2022), Çince 357 örnekle yapılan yapılandırılmış eşitlik modellemesi çalışmasında, Seru yeniden yapılandırmasının ve çok vasıflı işçi katılımının firma performansına etkilerini araştırmışlardır.

Gai vd. (2022), belirli bir eşzamanlı Seru üretim sistemi içinde üretim partisinin üretim süresini minimize etmeyi tartışmış ve açgözlü algoritmanın verimliliğini değerlendirmişlerdir.

Zhang vd. (2022b), Seru üretim sistemlerinde çizelgeleme problemlerini ele almış ve işçilerin öğrenme etkisi ile iş dağılımını dikkate alarak toplam tamamlanma

süresini minimize etmek için doğrusal olmayan bir tamsayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Bunun sonucunda modelin polinom zamanda çözülebilir olduğunu kanıtlamışlardır.

Liu vd. (2022), çelişen hedefler ve dinamik müşteri taleplerini dikkate alarak işçilerin rotasyon sırasını ve işlerin montaj sırasını belirleyen Dönen Seru üretim problemi için sezgisel bir model geliştirmişlerdir.

Fu vd. (2022), Dinamik Seru üretiminin toplam gecikmesini dikkate alarak Seru oluşumundaki değişiklikleri incelemişlerdir.

Li vd. (2022), gecikme serilerinin sayısını minimize etmeye yönelik bir Seru üretim modeli geliştirmişlerdir. Model, Seru oluşumu ve Seru çizelgeleme olarak ayrıştırılmıştır ve doğrusal bir programlama modeli ile zamanında parti sayısını maksimize etmeyi amaçlamıştır.

Zhan vd. (2022), Seruların fiziksel olarak yeniden yapılandırılabilir olduğunu ve işçilerin farklı beceri aralıklarına sahip olduğunu göz önünde bulundurarak, toplam tamamlanma süresini ve işçilik maliyetini minimize eden bir matematiksel model oluşturmuşlardır.

Torkul vd. (2022), Seru üretiminde süreç ve kalite hatalarını önlemek için bir kavramsal model önermişlerdir. Bu model, işçiler, çevre, montaj araçları, ergonomi, depolama ve envanter gibi birçok faktörü izlemeyi, kontrol etmeyi ve uyarmayı hedeflemiştir.

Zeng vd. (2022), çok vasıflı işçi atama problemi için toplam çalışma saatini ve iş yükü adaletsizliğini minimize eden iki amaçlı bir karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama modeli geliştirmişlerdir.

Lian vd. (2022), eşzamanlı görev dağılımı, ürün sıralama ve Seru yeniden oluşturma problemlerini çözmeye yönelik doğrusal olmayan bir matematiksel model önermişlerdir. Bu model, küçük sayısal örneklerle doğrulanmış ve verimli bir üretim modeli olarak sunulmuştur.

Zhang vd. (2022c), Japon elektronik montaj endüstrisinden kaynaklanan Seru üretim sistemlerinde üretim çizelgeleme problemlerini tamsayılı matematiksel programlama kullanarak ele almışlardır.

Fu vd. (2023), Seru üretiminin maksimum gecikmeyi azaltma ilkesini araştırmış ve bu amacı gerçekleştirmek için bir model oluşturmuşlardır.

Yıldız ve Tüzemen (2023) çalışmalarında, geleneksel montaj hattının Seru üretim sistemine dönüştürülmesinin etkilerini incelemeyi amaçlamışlardır. Çikolata üretimi yapan bir fabrikada gerçekleştirilen çalışmada, Arena simülasyon yazılımı kullanılarak alternatif hat-Seru montaj senaryoları oluşturulmuş ve sistemin performansı analiz edilmiştir.

Xiang vd. (2024), Seru üretim sisteminde kaynak kısıtlı olmayan dinamik Seru çizelgeleme problemlerine odaklanmışlardır. Bunun için karma tamsayı doğrusal programlama modeli geliştirilmiş ve verimlilik performansı tespit edilmiştir.

Jiang vd. (2024), çoklu hız değiştiren faaliyetlere ve DeJong'un öğrenme etkisine sahip bir Seru üretim sisteminde, toplam tamamlanma süresini ve toplam bekleme süresini minimize etmek için iki Seru çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Bu problemler atama problemi olarak yeniden formüle edildikten sonra, hesaplama süresi doğrulanmıştır. Önerilen kesin çözüm yöntemi, hız değiştirici faaliyet stratejilerinin makul bir şekilde uygulanmasında ve işlerin en kısa toplam tamamlanma süresine veya iş bekleme süresine ulaşacak şekilde çizelgelenmesinde en uygun çözümü sağlamıştır. Bu çalışma, Seru üretim sisteminin üretim döngüsünü kısaltmasına, üretkenliği artırmasına ve siparişe yanıt verebilirliği bir dereceye kadar iyileştirmesine yardımcı olmuştur.

Tao vd. (2024), talep dalgalanmaları altında toplam tamamlanma süresinin ortalama veya standart sapmasını minimize eden çok amaçlı Seru oluşturma problemini ele almayı amaçlamışlardır. Çok amaçlı stokastik optimizasyon modeli, Seru sayısını, işçilerin ve partilerin tahsis şemasını belirlemek için oluşturulmuştur. Ardından, önerilen modelleri çözmek için komşuluk araması içeren hibrit bir NSGA-II algoritması tasarlanmıştır. Sayısal deneyler, yöntemin etkinliğini doğrulamış ve Seru sisteminin stokastik talep dalgalanmalarıyla başa çıkma kabiliyetini ve istikrarını artırdığını göstermiştir. Güven seviyesi, ürün parti sayısı ve standart sapmanın sonuçlar üzerindeki etkileri analiz edilmiştir.

Sarı ve Akyol (2024), Seru Üretim Sisteminde görevlendirilmiş farklı işgücü yetkinlik seviyelerine sahip çalışanların üretim miktarını, geleneksel montaj hattı üretim sisteminde görevli olmaları sırasında ortaya koydukları üretim miktarı ile karşılaştırmış ve Seru Üretim Sistemlerinin, geleneksel montaj hattı üretim sistemlerine kıyasla daha fazla üretim miktarı sağladığını tespit etmişlerdir.

Li vd. (2024), birden fazla Seru ve kısa bir montaj hattı içeren hibrit bir montaj hattı-Seru üretim sistemi için işçi atama, parti bölme ve çizelgelemenin entegre bir optimizasyon problemini incelemişlerdir. Bu entegre optimizasyon problemi için, üretim süresini en aza indiren karma tamsayılı doğrusal olmayan bir programlama modeli önermişlerdir. Problemin büyük ölçekli örneklerini çözmek amacıyla, dört katmanlı bir çözüm kodlama şeması ve dört yeni komşuluk yapısı ile özel bir hibrit değişken komşuluk arama algoritması geliştirilmiştir. Modelin ve çözüm algoritmasının etkinliği iki örnek kümesi üzerinde doğrulanmıştır. Deneysel sonuçlar, önerilen hibrit metasezgiselin, Gurobi optimizasyon çözücüsü tarafından bir saat içinde elde edilen çözümlere kıyasla %20,94'e varan bir iyileşme sağlayarak bekleme süresinde önemli bir azalma sağladığını göstermiştir. Ayrıca, optimize edilmiş parti bölmenin avantajları literatürdeki parti bölmesiz ve eşit büyüklükte parti bölme stratejileri ile karşılaştırılarak gösterilmiştir.

Wu vd. (2024), bölünmüş Seru ve kısa montaj hattından oluşan hibrit bir montaj hattı-Seru üretim sistemi için çok vasıflı işçi atamasını incelemişlerdir. İş yükünü dengelemek ve üretim verimliliğini optimize etmek amacıyla iki amaçlı bir tamsayılı doğrusal olmayan programlama modeli geliştirilmiştir. Bu model, işçi-Seru, işçi-hat, parti-Seru, görev-işçi ve her bir partinin işleme sırasını birlikte optimize etmiştir. Modeli çözmek için Genetik Algoritma ile Çok Amaçlı Benzetimli Tavlama algoritmasını birleştiren bir meta-sezgisel yöntem tasarlanmıştır. Sonuç olarak, önerilen modelin ve çözüm yönteminin üretim verimliliğini korurken iş yükü dengesizliğini büyük ölçüde azaltabileceği gösterilmiştir.

Zhang vd. (2024a), Seru çizelgeleme problemlerinin atama problemlerine dönüştürülebileceğini kanıtlamak için kesin bir atama matrisi yaklaşımı formüle etmişlerdir. Polinom hesaplama zamanı doğrulandıktan sonra, önerilen yaklaşımın Seru çizelgeleme problemlerini yeniden formüle ederek analizde etkili olduğu gösterilmiştir.

Huang vd. (2024), çok vasıflı işçilerin olası yokluğunu göz önünde bulundurarak, hibrit bölünmüş Seru üretim sisteminde çok vasıflı işçiler ve operasyon birimleri için bir eşleştirme yöntemi önermişlerdir. Modeli çözmek için geliştirilmiş bir çok amaçlı bağıklık algoritması önerilmiştir. Son olarak, önerilen yöntemin uygulanabilirliğini ve etkinliğini göstermek için çeşitli sayısal deneyler yapılmış ve işbirliği katsayılarının modelin performansı üzerindeki etkisi analiz edilmiştir.

Zhang vd. (2024b), Seru üretim sisteminde kaynakların tahsisi ve işlerin sıralanmasına ilişkin üretim çizelgeleme problemlerini incelemişlerdir. Bir dizi işin bir dizi Seru üzerinden son tarih ve farklı yürütme modlarına göre çizelgelenmesi gereken üretim ortamı ele alınmış ve bir kombinasyon optimizasyon modeli sunulmuştur. Problemin karmaşıklığı ve önerilen Seru çizelgeleme modelinin özelliklerinden hareketle, çözüm yaklaşımı olarak iç içe bölümlleme yöntemi tasarlanmıştır. Son olarak, hesaplama çalışmaları yürütülmüş ve önerilen Seru çizelgeleme modelinin uygulanabilirliği kanıtlanmıştır. Ayrıca, iç içe bölümlleme çözüm yönteminin etkinliği farklı senaryolardan elde edilen hesaplama sonuçlarıyla gösterilmiş ve önerilen yaklaşımın iyi ölçeklenebilirliği karşılaştırmalı analizlerle kanıtlanmıştır.

Zhang ve Pan (2024), mevcut dalgalı piyasa ortamında değişken parti büyüklüklerine hızlı yanıt vermek için, Seru üretim sisteminde DeJong'un öğrenme etkisi ile üretim çizelgeleme problemleri konusuna odaklanmışlardır. Üretim süresini en aza indirmek için dönen bir Seru çizelgeleme karma tamsayılı programlama modeli oluşturulmuş ve buna göre Genetik Algoritma ile Benzetilmiş Tavlama algoritmasının avantajlarının entegre edildiği hibrit bir sezgisel algoritma tasarlanmıştır. Karma tamsayılı programlama modelinin ve hibrit sezgisel algoritmanın etkinliğini göstermek amacıyla sayısal deneyler yapılmıştır. Hesaplama sonuçları sunulmuş ve analiz edilmiş, ayrıca Seru içindeki yöneticiler için yönetimsel içgörüler sağlamak üzere duyarlılık analizi yapılmıştır.

Torkul vd. (2024) Seru üretim sistemine dönüşümün performans etkilerini araştırmayı amaçlayarak, simülasyon ve veri zarflama analizinin entegrasyonu ile hat-Seru dönüşüm modellemesi gerçekleştirmiş ve Seru sistemine dönüşümün üretim verimliliği ve kaynak kullanımında önemli iyileşmelere yol açtığını tespit etmiştir.

Niyaz ve Ali (2024), Seru üretim sistemini geleneksel montaj hattı ile karşılaştırmayı hedeflemiş, çok dönemli bir model geliştirerek işgücü becerilerinin verimliliğini inceleyerek Seru sisteminin yüksek beceri gerektirmesine rağmen çoklu beceri eğitim ve esneklik sayesinde daha yüksek verimlilik sağladığını tespit etmiştir.

Noman ve Umair (2024), Seru ve geleneksel montaj hatlarındaki beceri etkisini çok dönemli bir süreçte karşılaştırmayı hedefleyerek kapsamlı bir matematiksel model ortaya koymuş ve Seru'nun özellikle çok vasıflı işgücü entegrasyonu ve üretim esnekliğinde üstünlük sağladığını tespit etmiştir.

Zafer ve Ali (2024) Seru sistemlerinde montaj hattı becerilerini optimize etmeyi hedefleyerek, işgücü yetkinliklerini yeni bir optimizasyon modeli ile analiz etmiş, Seru'nun beceri yönetimi ve çoklu becerieğitim ile verimlilik artışı sağladığını kanıtlamıştır.

Hassan ve Umair (2024), Seru sistemlerinde çok dönemli ortamlarda işgücü optimizasyonunu hedef almış, meta-sezgisel algoritma ile işgücü çizelgelemesi uygulamış ve Seru'nun dinamik talep koşulları altında optimal işgücü tahsisi sağladığını göstermiştir.

Rizwan ve Khan (2024), Seru sisteminde işgücü optimizasyonunu ve beceri entegrasyonunu geliştirmeyi hedefleyerek yenilikçi bir çoklu becerieğitim modeli kullanarak Seru'nun ekip performansında ve operasyonel esneklikte önemli bir artış sağladığını bulmuşlardır.

Hanif ve Khan (2024), Özel Ekonomik Bölgelerde Seru üretim sisteminin uygulanması için yer seçimini optimize etmeyi amaçlayarak AHP metodolojisini kullanarak kriterleri değerlendirmiş ve Seru sisteminin beceri odaklı verimlilik artışı için en uygun yer seçimini sağladığını bulmuşlardır.

Zhang vd. (2024c), Seru üretim sistemine dayalı tedarik zinciri güvenilirliğini optimize etmeyi amaçlayarak bir tamsayılı programlama modeli oluşturmuş, sistem entegrasyonu gerçekleştirmiş ve Seru'nun tedarik zinciri güvenilirliği ve sistem istikrarında iyileşme sağladığını kanıtlamıştır.

Gürsoy Yılmaz vd. (2024), Seru üretim sisteminin değişken talebe cevap verebilirliğini artırmayı hedeflemiş, işgücü-parti optimizasyonu için yeni bir model geliştirmiş ve Seru'nun esnek üretim yapısı sayesinde müşteri taleplerine hızlı adaptasyon sağladığını saptamışlardır.

Damola (2024) Seru üretim sisteminde çok dönemli işgücü tahsisini optimize etmeyi amaçlayarak, esneklik ve verimlilik odaklı yeni bir tahsis stratejisi geliştirmiş ve işgücü tahsisinde performans artışı sağlandığını bulmuştur.

Xiang vd. (2024) dinamik kaynak kısıtlı Seru çizelgeleme problemlerini çözmeyi hedefleyerek, derin takviyeli öğrenme ile bir bant paketleme algoritması geliştirmiş ve Seru üretiminde kaynak kullanım verimliliğini artırmışlardır.

Jiang vd. (2024), Seru üretim sisteminde çoklu hız değıştiren faaliyetlerin ve öğrenmenin etkisini incelemeyi amaçlayarak kesin bir çözüm yöntemi geliştirmiş ve üretim döngüsünün kısaldığını ve verimliliğin arttığını göstermişlerdir.

Li ve Wu (2024), hibrit bir montaj hattı-Seru üretim sisteminde işçi atamasını ve parti bölüşümünü optimize etmeyi amaçlayarak entegre bir model geliştirmiş ve sistemin hem montaj hattı verimliliği hem de Seru esnekliği avantajlarını sağladığını kanıtlamışlardır.

Wu vd. (2024), hibrit bir montaj hattı-Seru üretim sisteminde çok vasıflı işçi atamasını optimize etmeyi hedefleyerek iki amaçlı bir yaklaşım geliştirmiş ve bölünmüş Seru'nun etkinliğini göstermiştir.

Zhang vd. (2024), Seru çizelgeleme problemlerinde geçmiş sıraya bağlı kurulum süresini ve ayarlama faaliyetlerini araştırmış, kesin bir çözüm yöntemi geliştirmiş ve sistem performansının iyileştirildiğini bulmuşlardır.

Zhou ve Bacanin (2024), Seru üretim sisteminde yapay zeka uygulamasını araştırmayı amaçlamış, altı bileşenli bir akıllı Seru üretim sistemi modeli geliştirmiş ve karar verme süreçlerinin iyileştirildiğini göstermişlerdir.

Li vd. (2024), kitlesel özelleştirme ortamında Hat-Seru için sıralama optimizasyonunu hedefleyerek, kısmen çoklu becerieğitimli işçiler için yeni bir model geliştirmiş ve değışken talep ve hacim dalgalanmaları altında verimli sonuçlar sağlamışlardır.

Huang vd. (2024), hibrit bölünmüş Seru üretim sisteminde çok vasıflı işçiler ile operasyon birimlerini eşleştirmeyi amaçlamış, optimizasyon tabanlı bir yöntem geliştirmiş ve esnek üretim talebini karşılamada başarılı sonuçlar almışlardır.

Xiang vd. (2024), dinamik Seru çizelgeleme probleminde sıraya bağlı kurulum süresi ve kaynak kısıtlarını araştırmış, bir VNS-IG algoritması geliştirerek çizelgeleme performansını iyileştirmişlerdir.

Kaushik ve Choudhary (2024), Seru uygulaması için anahtar faktörleri belirlemeyi hedefleyerek ANP ve AHP yöntemlerini kullanmış ve endüstriyel uygulamalar için öncelik kriterlerini belirlemişlerdir.

Sarı ve Akyol (2024), Seru üretim sistemini farklı işgücü yetkinlik seviyelerinde geleneksel montaj hattı üretim sistemi ile kıyaslamayı amaçlamış, ANOVA ve istatistiksel analiz kullanarak deneysel bir çalışma yürütmüş ve sonuç olarak Seru

Üretim sisteminin farklı işgücü yetkinlik seviyelerinde geleneksel montaj hattına kıyasla daha yüksek üretim miktarı sağladığını tespit etmişlerdir. Çalışmada aynı zamanda işgücü yetkinlik seviyelerinin üretim performansı üzerindeki etkileri de ayrıntılı olarak incelenmiş ve istatistiksel açıdan anlamlı farklılıklar bulunmuştur.



BÖLÜM 3: GELENEKSEL MONTAJ HATTI ÜRETİM SİSTEMİNİN DÖNEN SERU ÜRETİM SİSTEMİNE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ VE BİR UYGULAMA

Çalışmanın bu bölümünde, Seru odaklı bir optimizasyon problemi tanımlanacaktır. Problemin çözümüne yönelik olarak, bisiklet üretimi yapan bir firmada geleneksel üretim sisteminin Seru üretim sistemine dönüştürülmesi, Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama (KTDP)yöntemi kullanılarak ele alınacaktır. Bu kapsamda, öncelikle uygulamanın gerçekleştirileceği firmaya ilişkin tanımlayıcı bilgiler sunulacaktır. Ardından, mevcut üretim sürecinin analizi yapılacak ve bu analiz üzerine değerlendirmelerde bulunulacaktır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda ortaya çıkan problemlere yönelik bazı çözüm önerilerine odaklanılacaktır. Bu doğrultuda, KTDPyöntemi kullanılarak Geleneksel Üretim Sistemi ile modern Seru Üretim Sistemi kıyaslanacak ve Seru sisteminin temel amacına yönelik olarak sunulan modelinçiktısıpaylaşılacaktır.

3.1.Uygulamanın Amacı

Sürdürülebilir üretim, enerji ve doğal kaynakları korurken çevresel etkileri en aza indiren ve aynı zamanda ekonomik olarak sürdürülebilir süreçler aracılığıyla ürünlerin oluşturulmasını hedefler. Artan emtia fiyatları ve giderek daha kırılgan hale gelen tedarik zincirlerine karşı, sürdürülebilir üretimin önemi giderek artmaktadır ve bu eğilimin gelecekte de devam etmesi öngörülmektedir.

Yalınlık ve çeviklik gibi üretim stratejileri, şirketlere maliyet tasarrufu sağlama imkânı sunar; ancak bu stratejilerin etkinliği, ürünlerin hacmine ve talep profiline bağlıdır. Günümüzde kitlesel özelleştirme eğilimi, şirketlerin seri üretim fiyatlarıyla kişiselleştirilmiş ürün ve hizmetler sunma zorunluluğunu beraberinde getirmektedir. Bu, şirketlere daha fazla operasyonel yük getirirken, geleceğin fabrikalarının bu yeni talepleri karşılayabilmesi için bütünsel bir üretim çerçevesinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Yaşanan bu zorluklar, yeni ve modern üretim sistemlerine geçişin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Özellikle, değişen taleplere daha hızlı ve esnek bir şekilde adapte olabilmek, günümüz üretim ortamlarında büyük bir avantaj sağlamaktadır. Nitekim, bir önceki bölümde ele alınan literatürde, modern montaj üretim yöntemlerinin ne kadar

etkili olduğu vurgulanmış ve bu yöntemlerin sağladığı faydalar detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Bu bağlamda, yeni üretim sistemlerinin benimsenmesi, sadece operasyonel verimliliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda şirketlerin uzun vadeli sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmalarına da katkıda bulunur. Geleceğin üretim süreçleri, sadece maliyet ve hız odaklı olmamalı, aynı zamanda çevresel sorumluluk ve esneklik gibi unsurları da içermelidir. Böylece, şirketler rekabet avantajını sürdürebilir ve hızla değişen pazar koşullarına uyum sağlayabilirler.

Geleneksel montaj hattını kullanan işletmeler, atölye ortamındaki belirsizlikler nedeniyle çeşitli sorunlarla karşılaşmaktadır. Örneğin, parçaların işlenmesi sırasında yüksek taşıma maliyetleri, uzun kurulum süreleri ve darboğazlar üretim sürecini yavaşlatabilir. Ayrıca, işçilerin birden fazla işi yapma konusundaki yetersizlikleri, işgücü verimliliğini düşürürken, üretim hattının değişen taleplere hızla yanıt verme yeteneğini sınırlar.

Bu sorunlara ek olarak, parça akışındaki düzensizlikler envanter yönetiminde zorluklar yaratabilir ve bu da hem fazla stok maliyetlerini artırır hem de malzeme eksikliklerine bağlı üretim kesintilerine yol açar. Üretim süreçlerindeki bu tür zorluklar, işletmelerin maliyetlerini yükseltir ve pazar taleplerine hızlı yanıt verme kabiliyetlerini sınırlar. Bu nedenle, işletmeler daha esnek ve verimli üretim sistemlerine yönelme ihtiyacı duymaktadır.

Bu çalışma kapsamında, bisiklet firmasının karşılaştığı sorunlar, üretim süreçlerinde verimliliği ve performansı olumsuz etkileyen bir dizi temel problemi içermektedir. Öncelikle, üretim hattında sıkça meydana gelen darboğazlar, belirli noktalarda üretimin yavaşlamasına ve hattın diğer bölümlerinde beklemelere neden olmaktadır. Bu darboğazlar, üretimde hedeflenen sürelerin aşıl原因 olarak gecikmelere yol açmasına sebep olur ve genel verimliliği düşürür.

Buna ek olarak, parçaların işlenmesi sırasında ortaya çıkan yüksek taşıma maliyetleri ve uzun kurulum süreleri, işletmenin üretim maliyetlerini artırmakta ve süreçlerin esnekliğini kısıtlamaktadır. Geleneksel montaj hattında, işçilerin birden fazla işi yapma konusundaki yetersizlikleri, üretim hattının değişen taleplere hızlı bir şekilde uyum sağlama kabiliyetini zayıflatmaktadır. Bu durum, işgücü verimliliğini düşürürken, işletmenin üretim hedeflerine ulaşmasını zorlaştırır.

Ayrıca, parça akışındaki düzensizlikler ve zayıf envanter yönetimi, üretim sürecinde sık sık malzeme eksikliklerine yol açarak üretim kesintilerine neden olabilir. Bu eksiklikler hem fazla stok maliyetlerini artırmakta hem de üretim sürekliliğini tehlikeye atmaktadır. Tüm bu sorunlar, işletmenin üretim maliyetlerini yükseltmekte, üretim sürelerini uzatmakta ve müşteri taleplerine zamanında yanıt verme kabiliyetini ciddi şekilde sınırlamaktadır.

Bu sorunları çözmek ve üretim süreçlerini iyileştirmek amacıyla, geleneksel üretim montaj hattının modern bir üretim sistemi olan Seru üretim sistemine dönüştürülmesi hedeflenmiştir. Bu dönüşüm, üretim hattının esnekliği ve verimliliği artırmayı, üretim sürelerini kısaltmayı ve işgücü kullanımını optimize etmeyi amaçlamaktadır.

3.2.Uygulamanın Önemi

Seru üretim sisteminin uygulanmasıyla, işletmenin üretim sürecinde önemli iyileştirmeler sağlanabilir. Bu iyileştirmeler arasında malzeme akışının daha düzenli hale getirilmesi, gecikme ve beklemlerin minimum düzeye indirilmesi, çalışanların üretim sürecine daha iyi adapte edilmesi, üretim hattının daha etkili bir şekilde yerleştirilmesi ve kurulum sürelerinin en aza indirilmesi yer alır. Araştırmanın yapıldığı firmada, üretim sürelerindeki dengesizlikler ve hedeften sapan çalışma koşulları, hem insan kaynaklarının hem de kullanılan malzemelerin etkinliğini azaltmaktadır. Seru üretim sistemi ile yapılan değişiklikler sonucunda, üretim süresinin en aza indirilmesiyle iş akışında gözle görülür bir iyileşme sağlanabilir. Çalışanlar arasındaki koordinasyonun artırılması ve işlerin zamanında tamamlanması, hedeflere uygun olarak sunulmuş yeni bir üretim sistemi ortaya çıkarır.

Bu çalışma, geleneksel üretim hattını, beklemler ve gecikmeleri en aza indirecek şekilde yeniden tasarlayıp Seru üretim modelini benimseyerek, iş akışını daha verimli hale getirmeye odaklanmaktadır. Aynı zamanda, bu çalışma Seru üretim sisteminin Türkiye’de geleneksel montaj hattını kullanan bir firmada uygulanabilirliğini de incelemeyi amaçlamaktadır. Bu sayede, işletmelerin daha verimli ve esnek bir üretim sürecine geçiş yapabilmeleri için bir yol haritası sunulmaktadır.

3.3. Materyal ve Yöntemin Tanımlanması

Öncelikle, çalışmanın temelini oluşturan ve uygulamaya yönelik olarak sunulan optimizasyon modelinin varsayımları detaylı bir şekilde sunulmuştur. Bu aşamada, kullanılan veri seti titizlikle tanımlanmış ve analiz için gerekli olan tüm parametreler belirlenmiştir. Temel alınan Hat-Seru matematiksel modeli, literatürde Liu vd. (2012) tarafından geliştirilen modeli kullanarak Çalışkan vd. (2021) tarafından önerilen karma tamsayılı doğrusal programlama yaklaşımına dayanmaktadır. Firmadan elde edilen veri setine uygun olacak şekilde matematiksel model değerlendirilmiş ve modele yeni bir parametre, kısıtlar ve sınıflandırmalar entegre edilmiştir.

Bu model, üretim sürecinin dinamiklerini daha iyi yansıtmak ve gerçekçi sonuçlar elde etmek amacıyla, ilgili literatürde yer alan teorik çerçeve ve pratik uygulamalarla desteklenmiştir. Model, özellikle üretim sürecindeki darboğazların önlenmesi, işçi dağılımının optimize edilmesi ve üretim süresinin minimize edilmesi gibi kritik hedefler doğrultusunda sunulmuştur. Böylece, modelin hem esnekliği artırılmış hem de üretim sürecinin farklı senaryolar altında optimize edilmesine olanak sağlanmıştır.

Bu çalışma, yalnızca teorik bir model sunmakla kalmayıp, aynı zamanda Türkiye'deki bisiklet üretim sektöründe pratik olarak uygulanabilir bir çözüm önerisi sunmayı amaçlamaktadır. Modelin çözümü Lingo 18.0 optimizasyon yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar, analitik bir bakış açısıyla değerlendirilmiştir. Analiz çıktıları da çalışmanın sonunda yer alan Ekler bölümünde sunulmuştur.

Analizler, yüksek işlem kapasitesine sahip AMD Ryzen 5 3500 6-Core işlemcili, 64 bit işletim sistemi ve x64 tabanlı işlemciye sahip bir Windows 10 Pro sürümlü masaüstü bilgisayar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu donanım, modelin çözüm sürecindeki verimliliği ve hızını artırmak amacıyla tercih edilmiş olup, elde edilen sonuçların doğruluğu ve güvenilirliği bu sayede sağlanmıştır.

3.4. Firmanın Tercih Ettiği Geleneksel Üretim Hattının Mevcut Durum Analizi

Firma, bisiklet üretimini gerçekleştirmek için geleneksel üretim hatlarını kullanarak aşağıdaki yapıyı oluşturmuştur:

- İki farklı bisiklet üretim hattı bulunmaktadır; bunlardan biri çocuklar, diğeri ise yetişkinler için bisikletlerin montajlarıdır.

- Bu iki taşıyıcı üretim hattında toplam 6 işçi çalışmaktadır.
- İki montajhattında toplam 9 farklı parti büyüklük miktarı karşılanmaktadır.
- Seru üretim sisteminin analizi için kullanılması planlanan veri seti Geleneksel montaj hattı üretim sisteminin analizi için de kullanılmıştır. Bu analiz de benzer şekilde Lingo yazılımında kodlanarak modellenmiştir. Toplam tamamlanma süresinin minimizasyonunda elde edilen amaç fonksiyon değeri 187038,7sn. olarak elde edilmiştir. Bu analize ilişkin sonuç çıktısı ekler bölümünde verilmiştir.

Çalışanlar, montajhattında birden fazla işi yapabilme kapasitesine sahiptir. Ancak, işlem tipi değiştiğinde veya farklı bir hat üzerinde çalışmaları gerektiğinde, bu durum değişkenlik göstermektedir. Bazı çalışanlar bazı işlemleri yapabiliyorken bazıları da yapma konusunda zorlanmaktadırlar. Bu durum, çalışanların çok vasıflı işçi atama problemine işaret etmektedir. Bu çalışmanın bir diğer amacı da, işçilerin hem Serulara hem de işlere en uygun bir şekilde atanmasını sağlayarak üretim verimliliğini artırmaktır.

İşçiler işlemleri gerçekleştirmek için gerekli parçaları üretim hattındaki pozisyonlarını kaybederek taşımak zorunda kalmaktadır. Bu durum, fazladan taşıma maliyetine ve üretim hattının yavaşlamasına neden olarak çevrim süresinin gereğinden fazla uzamasına yol açmaktadır.

3.5.Geleneksel Üretim Sisteminden Seru Üretim Sistemine Geçiş Aşaması

Mevcut durum analizi yapıldıktan sonra, geleneksel üretim sisteminin Seru üretim sistemine dönüştürülmesiyle beklenen değişimler, olası iyileştirmeler ve sonuçlar şu şekilde tanımlanmıştır:

1. Geleneksel düz hatların yeniden yapılandırılması: Mevcut düz üretim hatlarının sökülerek taşınabilir, hafif ve yeniden tasarlanabilir U şeklinde hatlara dönüştürülmesi planlanmıştır. Bu dönüşüm, üretim hattının esnekliğini artırarak, değişen taleplere hızlı yanıt verilmesini sağlayacaktır.

2. Üretim süresinin en aza indirilmesi: Toplam tamamlanma süresinin minimize edilmesiyle, üretim sistemi daha etkili hale getirilecektir. Bu da üretim maliyetlerini düşürürken, toplam üretim kapasitesini artıracaktır.

3. İşçilerin serulara ve işlere atanması: Çalışanlar, en uygun şekilde Serulara ve görevlere atanarak rotasyon yapmaları sağlanıp, iş yükü dengesi sağlanacak ve üretim süreci optimize edilecektir.

4. Makinelerin esnek hatlara entegrasyonu: Tüm üretim hattının daha hızlı ve etkin çalışabilmesi için makineler, taşınabilir ve esnek hatların içine konumlandırılacaktır. Bu sayede üretim sürecinde esneklik sağlanarak, talep değişikliklerine anında uyum sağlanabilecektir.

5. Gereksiz taşıma ve zaman kaybının önlenmesi: Hareket alanının yeniden dizayn edilmesiyle, parça veya ürünlerin gereksiz taşınmasının ve zaman kaybının önüne geçilecektir. Bu düzenleme, üretim sürecini daha verimli hale getirecek ve işlemler arasındaki geçişlerin hızlanmasını sağlayacaktır.

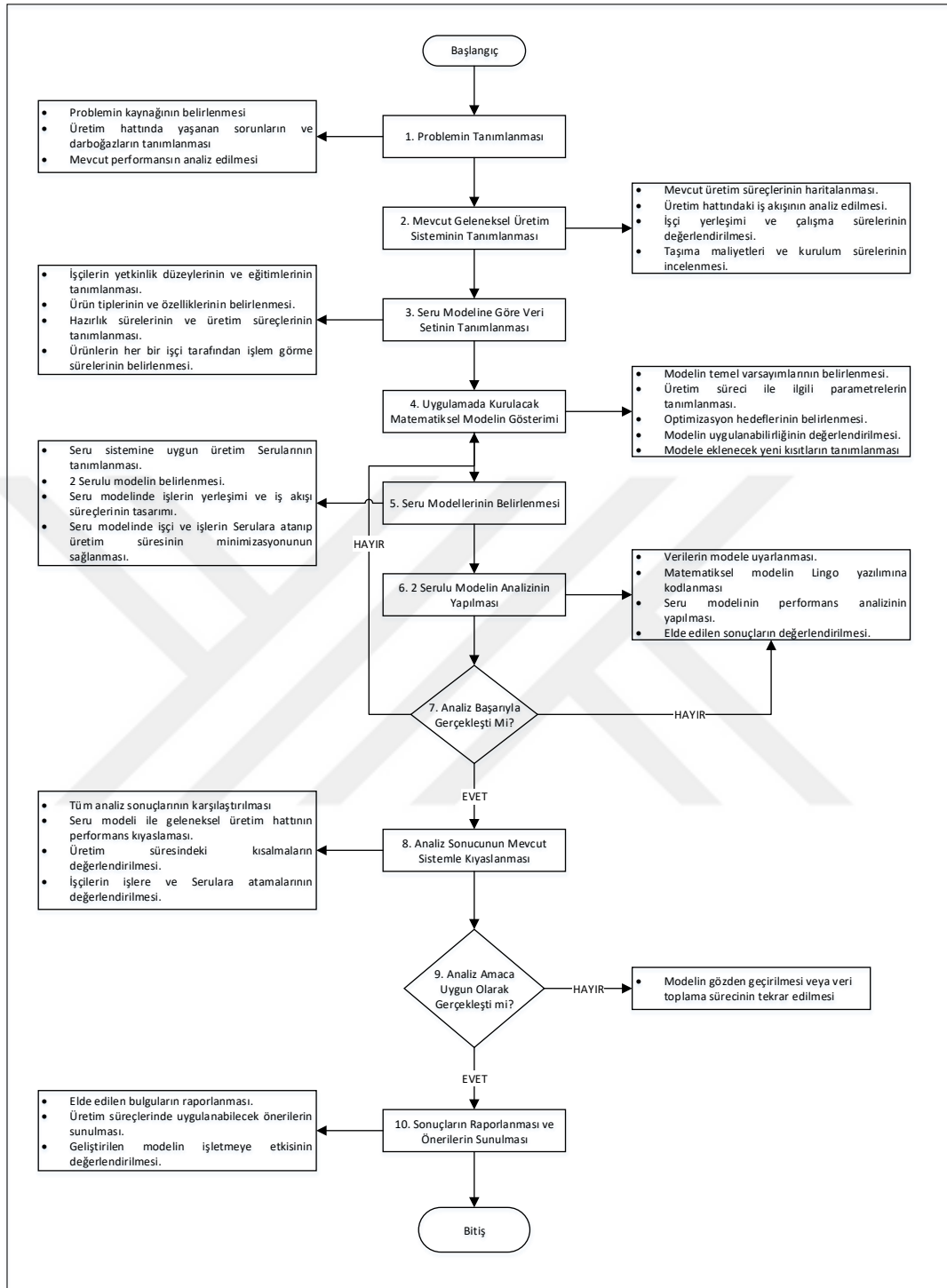
6. Hazırlık sürelerinin minimize edilmesi: Üretim hattı ve esnek makinelerin hazırlık sürelerinin minimum düzeye indirilmesi hedeflenmiştir. Bu, üretim sürecinde geçen zamanı azaltarak verimliliği artıracaktır.

7. İşlem görsellerinin kullanımı: Çalışanlar, parçaları ürünlere dönüştürürken alma-işleme-bırakma işlemlerini gerçekleştirirler. Bu işlemler arasında, alma aşamasında çalışanların rahatça görebileceği şekilde ürün ve işlem görsellerinin kullanılması planlanmıştır. Bu uygulamanın, çalışanların hızını artıracığı ve işlemleri daha kısa sürede tamamlamalarını sağlayacağı öngörülmektedir.

8. Çalışan sorumluluklarının artırılması: Seru üretim sisteminde çok vasıflı işçilerin işlemleri gerçekleştirirken sorumluluklarının artırılması amaçlanmıştır. Bu, çalışanların işlerine daha fazla odaklanmalarını ve üretim sürecine daha etkin katılım sağlamalarını destekleyecektir.

9. Üretim alanının verimliliğinin artırılması: Esnek hatların kullanımı sayesinde, üretim alanı daha verimli hale getirilecek ve hareket alanı düzenlenecektir. Bu, iş süreçlerinin daha akıcı hale gelmesini sağlayacak ve üretim alanının etkin kullanımını artıracaktır.

Bu bölümden sonra, uygulamada kullanılacak matematiksel model, veri seti ve analiz sonuçları sunulmuştur. Bu adımlar, Şekil 3.1'deki akış diyagramı ile açıklanmıştır.



Şekil 3.1.Uygulama Süreci Akış Diyagramı

3.6. Veri Setinin Ana Hatlarının Açıklanması ve Mevcut Geleneksel Üretim Sisteminin Tanımlanması

3.6.1. Veri Setinin Ana Hatlarının Açıklanması

Uygulamanın yapılması için gerekli veri seti, Türkiye'de geleneksel montaj üretim sistemine sahip olan bir bisiklet üretim firmasından elde edilmiştir. Bu veri seti, firmanın çocuk ve yetişkin bisikletleri için uyguladığı üretim işlemlerini detaylı bir şekilde karakterize etmektedir.

Parti büyüklük miktarları, üretim sisteminin belirli bir periyodundaki anlık durumu yansıtmaktadır. Bu veriler, sistemin operasyonel karakteristiklerini anlamak ve optimizasyon potansiyelini değerlendirmek için önemli bir temel oluşturmaktadır. Veri setinin önemli bir bölümünü oluşturan hazırlık ve işlemlerin görülme süreleri, son 6 aylık üretim döneminin geometrik ortalaması alınarak elde edilmiştir.

3.6.2. Mevcut Geleneksel Üretim Sisteminin Tanımlanması

İşletmenin montaj sürecinde iki ana ürün tipi bulunmaktadır. Bunlar çocuk ve yetişkin bisikletleridir. Her iki ürün tipinin üretimindeki işlem adımları ve bu adımların alt süreçleri firmanın mevcut montaj hattındaki operasyonların detaylı bir incelemesini sunmaktadır. Bu alt süreçler, firmanın montaj süreçlerinde karşılaştığı spesifik zorlukları ve iyileştirme fırsatlarını belirlemek amacıyla detaylı olarak analiz edilmiştir.

Örneğin, çocuk bisikletleri montaj sürecinde kadro montajından fren ve vites montajına kadar olan süreçler, çocukların güvenliği ve kullanım kolaylığı gözetilerek tasarlanmış bazı özel adımları içermektedir. Yetişkin bisikletleri içinde, dayanıklılık ve performans odaklı süreçler ön plandadır.

Bu süreçlerin her biri, montaj hattındaki verimliliği artırmak ve ürün kalitesini yükseltmek amacıyla Seru üretim sistemi kapsamında yeniden değerlendirilecektir. İşçilerin bu yeni sistemdeki optimal görev dağılımları, süreçlerin etkinliğini daha da artırmayı hedefleyen önemli bir bileşen olarak ele alınacaktır.

Sonuç olarak, firmanın mevcut montaj süreci ve verimlilik sorunları incelenmiş, Seru üretim sistemine geçişin sağlayacağı potansiyel iyileştirmeler belirlenmiştir. Bu analiz doğrultusunda, Seru üretim modeline geçişin firmanın operasyonel performansına katkı sağlaması hedeflenmektedir. Firmanın çocuk ve yetişkin bisikletleri için uyguladığı parti büyüklük miktarları ve üretim işlemleri şu şekilde tanımlanmaktadır:

Tablo 3.1. Çocuk ve Yetişkin Bisikletlerinin Üretiminde İşlem Tiplerine Ait Parti Büyüklük Miktarları

İşlem No	Parti Büyüklük Miktarı
1	35
2	40
3	44
4	36
5	42
6	38
7	37
8	45
9	32

Tablo 3.1'de yer alan bilgiler, çocuk ve yetişkin bisikletlerinin montajı için belirlenen parti büyüklük miktarları ve bu miktarlara karşılık gelen işlem numaralarını göstermektedir. Burada, her bir işlem numarası belirli bir bisiklet türünü ve bu tür için gereken parti büyüklük miktarını temsil etmektedir. Tablo 3.1 şu şekilde açıklanabilir:

➤ **Çocuk Bisikletleri için Parti Büyüklük Miktarları:**

- İşlem No 1: 35 adet
- İşlem No 3: 44 adet
- İşlem No 6: 38 adet
- İşlem No 7: 37 adet

Bu işlemler çocuk bisikletleri için üretilecek olan ürün miktarlarını gösterir.

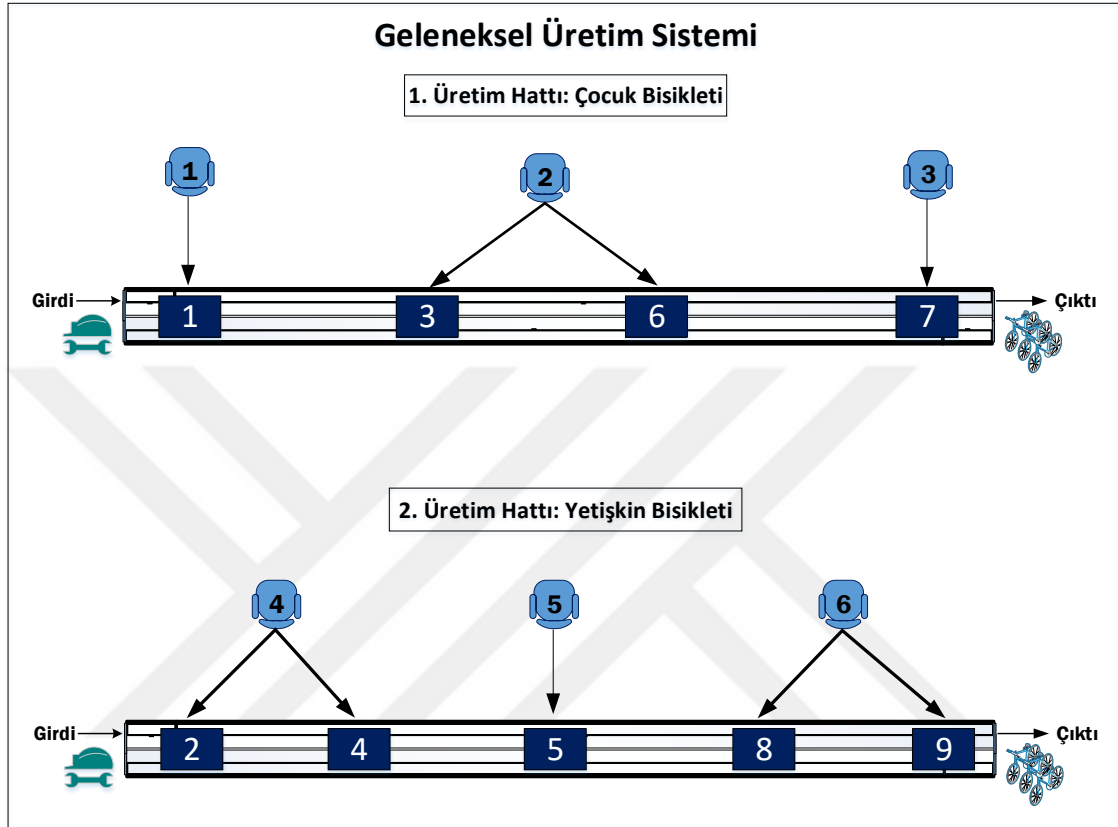
➤ **Yetişkin Bisikletleri için Parti Büyüklük Miktarları:**

- İşlem No 2: 40 adet
- İşlem No 4: 36 adet
- İşlem No 5: 42 adet
- İşlem No 8: 45 adet
- İşlem No 9: 32 adet

Bu işler ise yetişkin bisikletleri için üretilecek olan işlem tipi miktarlarını temsil etmektedir.

Tablo 3.1, her bir bisiklet türü için işleme alınacak olan miktarları ve bu işlemlerin hangi iş numaralarına denk geldiğini göstererek, üretim planlaması ve iş dağılımı süreçlerinde kullanılacak önemli bir referans kaynağı sunmaktadır.

Şekil 3.2'de, bisiklet montajları için geleneksel montaj hatları ve üretim süreci ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. Bu şekil, çocuk ve yetişkin bisikletlerinin üretim süreçlerini içermektedir.



Şekil 3.2. Çocuk ve Yetişkin Bisikletlerinin Üretim Hatları

Şekil 3.2'deki gibi geleneksel üretim sisteminde, çocuk ve yetişkin bisikleti üretim hatlarında işçilerin görev dağılımı net bir şekilde belirlenmiştir. 1. Üretim Hattı çocuk bisikletlerinin üretimi için ayrılmış olup, burada 1. işçi 1 numaralı işlemde, 2. işçi 3 numaralı işlemde, 3. işçi ise hem 6 numaralı hem de 7 numaralı işlemde görev almaktadır. 2. Üretim Hattı ise yetişkin bisikletlerinin üretimi için tasarlanmış olup, 4. işçi 2 numaralı işte, 5. işçi 4 ve 5 numaralı işlemlerde, 6. işçi ise 8 ve 9 numaralı işlemlerde çalışmaktadır. Bu düzenleme, işçilerin belirli işlem numaraları ile eşleştiği geleneksel bir montaj hattının yapısını yansıtmaktadır.

Çocuk ve yetişkin bisikleti üretim sürecinin her bir ana aşaması, spesifik alt süreçlerle desteklenerek tamamlanır. Montaj sürecinin her bir ana işlemi ve bunlara bağlı alt süreçler şu şekilde detaylandırılmıştır:

➤ **Çocuk bisikleti üretim sürecindeki her bir ana işlemin alt süreçleri**

1. Kadro Montajı (1. İşlem)

- Alt Süreç 1.1: Kadro Bağlantı Elemanlarının Güçlendirilmesi

Çocuklar için ekstra güvenlik sağlamak amacıyla bağlantı elemanlarının daha güvenli ve sağlam hale getirilmesi.

- Alt Süreç 1.2: Kadro Üzerine Koruma Kılıfı Eklenmesi

Çocukların yaralanmasını önlemek için kadronun etrafına yumuşak koruyucu kılıf eklenmesi.

- Alt Süreç 1.3: Kadro Üzerine Aksesuar Montajı

Çocuklar için renkli ve ilgi çekici desenler ve renklerin uygulanması.

2. Tekerlek Montajı (3. İşlem)

- Alt Süreç 2.1: Tekerlek Göbeklerine Koruyucu Kapak Eklenmesi

Küçük çocukların parmaklarının tekerlek göbeklerine sıkışmasını önlemek için koruyucu kapak eklenmesi.

- Alt Süreç 2.2: Lastik Takma ve Şişirme

Çocuk bisikletleri için daha yumuşak lastiklerin kullanılması ve düşük basınçta şişirilmesi, bu da daha konforlu bir sürüş sağlar.

- Alt Süreç 2.3: Tekerlek Dengeleme ve Güvenlik Kontrolü

Dengeleme işlemine ek olarak, tekerleklerin güvenliğini sağlamak için ek kontroller yapılması.

3. Fren ve Vites Montajı (6. İşlem)

- Alt Süreç 3.1: Fren Sistemi Montajı

Çocukların rahatlıkla kullanabilmesi için fren kollarının daha küçük ve kolay sıkılabilir hale getirilmesi.

- Alt Süreç 3.2: Vites Sistemi Montajı

Çocuklar için daha az karmaşık bir vites sistemi kurulması veya yalnızca tek vitesli sistemlerin monte edilmesi.

- Alt Süreç 3.3: Gidon, Fren ve Vites Kablosu Bağlantısı

Frenlerin daha hassas ve güvenli çalışmasını sağlamak için ekstra güvenlik ayarlarının yapılması.

4. Sele Montajı, Son Kontrol ve Paketleme (7. İşlem)

- Alt Süreç 4.1: Selenin Yerleştirilmesi ve Ayarlanması

Çocuk bisikletlerinin güvenliğini sağlamak için tüm montaj sürecinde ekstra güvenlik kontrolleri yapılması.

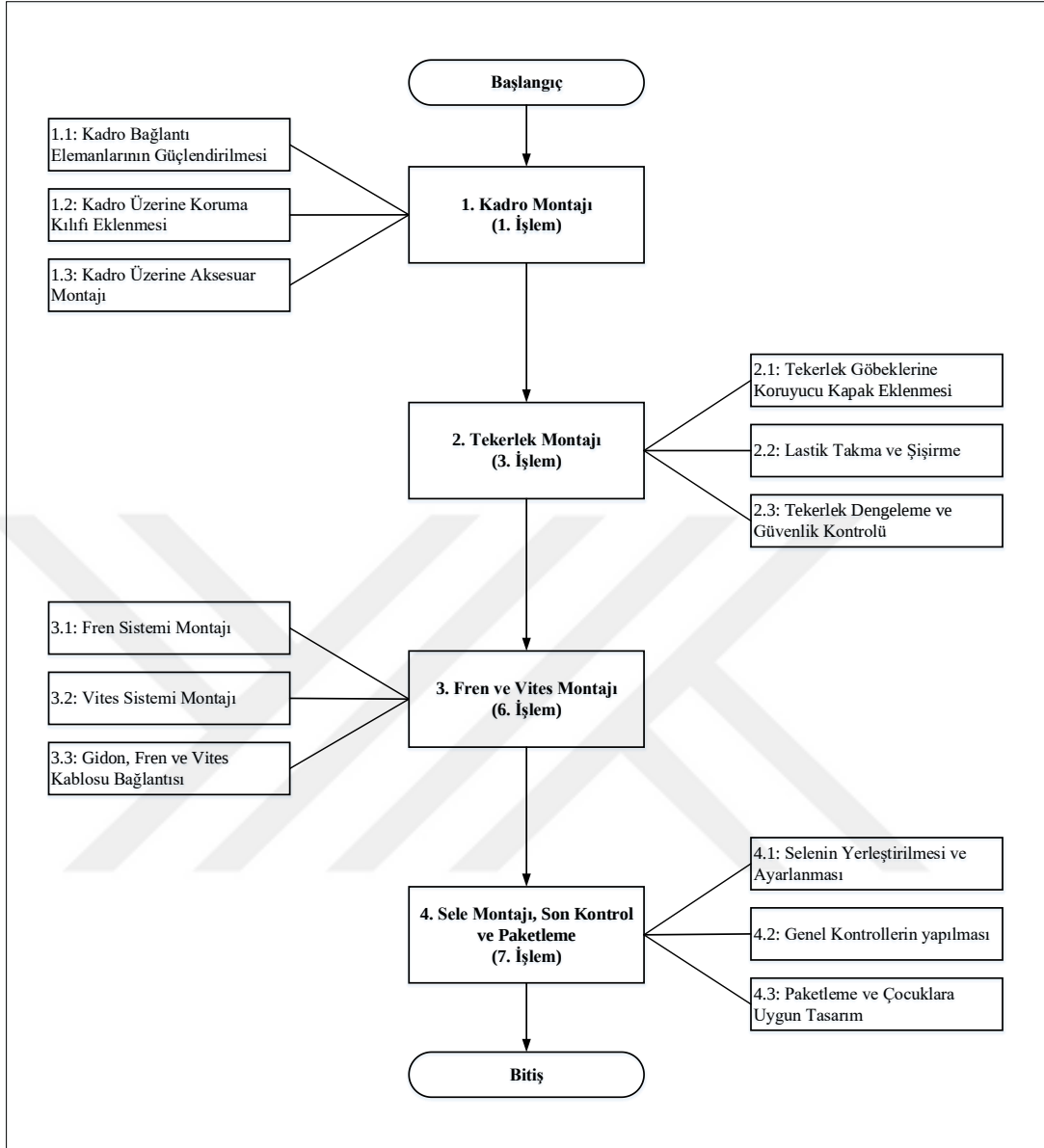
- Alt Süreç 4.2: Genel Kontrollerin yapılması

Pedalların kaymaz özellikte olduğundan emin olunması, sele ve gidonun çocuk boyutlarına göre ayarlanması.

- Alt Süreç 4.3: Paketleme ve Çocuklara Uygun Tasarım

Paketleme esnasında güvenli taşınmayı sağlayacak ek önlemler alınması ve ambalajın çocuklara yönelik çekici hale getirilmesi.

Çocuk bisikleti montajına dair üretim işlemlerinin akış diyagramı Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Çocuk Bisikleti Montajına Dair Üretim İşlemlerinin Akış Diyagramı

➤ **Yetişkin bisikleti üretim sürecindeki her bir ana işlemin alt süreçleri**

1. Kadro Montajı (2. İşlem)

- Alt Süreç 1.1: Kadro Bileşenlerinin Birleştirilmesi

Kadro parçalarının önceden hazırlanmış bileşenler kullanılarak birleştirilmesi.

- Alt Süreç 1.2: Vida ve Cıvata Sıkma

Kadronun sağlamlığı için gerekli olan tüm vida ve cıvataların sıkılması.

- Alt Süreç 1.3: Kadro Üzerine Aksesuar Montajı

Su şişesi tutucu, pompa ve diğer aksesuarların kadroya monte edilmesi.

2. Tekerlek Montajı (4. İşlem)

- Alt Süreç 2.1: Jantların Kadroya Montajı

Jantların kadroya monte edilmesi ve sabitlenmesi.

- Alt Süreç 2.2: Lastiklerin Jantlara Takılması

Önceden şişirilmiş lastiklerin jantlara takılması.

- Alt Süreç 2.3: Tekerleklerin Kadroya Monte Edilmesi

Tekerleklerin kadro üzerindeki bağlantı noktalarına monte edilmesi.

3. Gidon ve Sele Montajı (5. İşlem)

- Alt Süreç 3.1: Gidonun Yerleştirilmesi ve Sıkılması

Gidonun kadroya monte edilmesi ve doğru pozisyonda sıkıca yerleştirilmesi.

- Alt Süreç 3.2: Selenin Yerleştirilmesi ve Ayarlanması

Selenin kadroya monte edilmesi ve yüksekliğinin ayarlanması.

- Alt Süreç 3.3: Fren ve Vites Kablolarının Bağlanması

Fren ve vites kablolarının gidon ve kadroya bağlanması.

4. Fren ve Vites Montajı (8. İşlem)

- Alt Süreç 4.1: Fren Sistemi Montajı

Fren kollarının ve fren tellerinin monte edilmesi.

- Alt Süreç 4.2: Vites Sistemi Montajı

Vites değiştirici ve kabloların monte edilmesi.

- Alt Süreç 4.3: Fren ve Vites Ayarlarının Yapılması

Frenlerin ve viteslerin doğru çalışmasını sağlamak için ayarların yapılması.

5. Son Kontrol ve Paketleme (9. İşlem)

- Alt Süreç 5.1: Genel Montaj Kontrolü

Bisikletin tüm parçalarının doğru şekilde monte edildiğinin kontrol edilmesi.

- Alt Süreç 5.2: Bisikletin Temizlenmesi

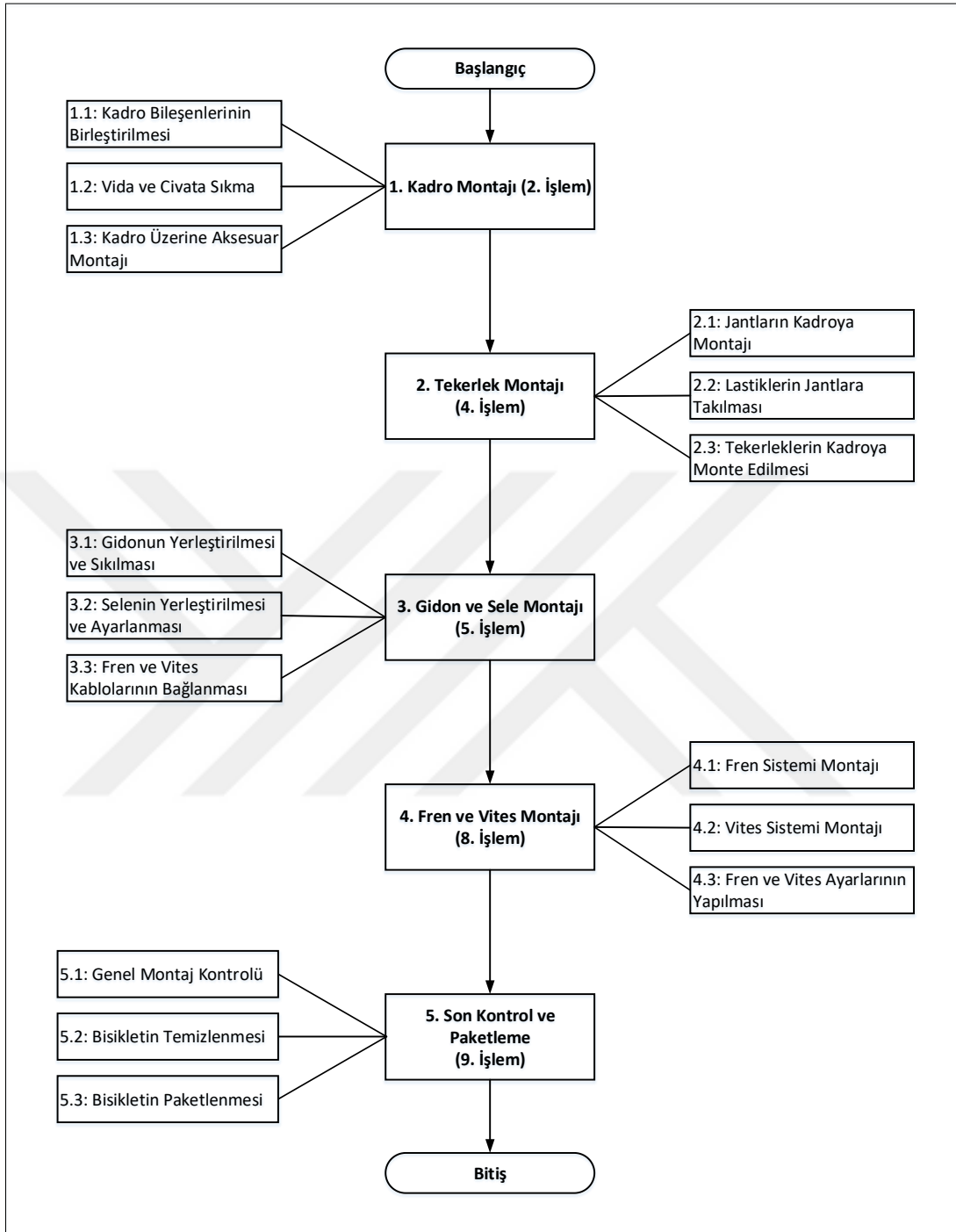
Montaj sonrası bisikletin temizlenmesi ve son bir kontrol yapılması.

- Alt Süreç 5.3: Bisikletin Paketlenmesi

Bisikletin sevkiyata hazır hale getirilmesi için paketlenmesi.

Şekil 3.4'de tanımlandığı üzere, geleneksel üretim hatlarında iki farklı ürün (çocuk ve yetişkin bisikletleri) üretilmektedir. Bu ürünler iki ayrı üretim bandında üretilmektedir, bu nedenle iki uzun üretim hattında toplamda 6 işçi görev almaktadır. Bu işçiler, birden fazla işi yapabilme kapasitesine sahip, diğer bir deyişle çoklu beceri eğitimi tamamlamış tecrübeli işçilerdir. 1., 2., ve 3. işçiler çocuk bisikletlerinin üretildiği bantta, 4., 5., ve 6. işçiler ise yetişkin bisikletlerinin üretildiği bantta çalışmaktadır. İşçiler, üretim planlama departmanının vereceği kararlara ve mevcut talep durumlarına göre bantlar arasında geçiş yapmaktadırlar.

Üretim sorumluları tarafından üretim bandı için yapılan gözlemler sonucunda, en belirgin sorunlar arasında üretimdeki darboğazlar ve taleplerin karşılanmasındaki gecikmeler tespit edilmiştir. Aynı zamanda, işçilerin bantlar arası geçiş yapmaları, verimliliklerini olumsuz yönde etkileyebilecek bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Lingo yazılımı kullanılarak yapılan geleneksel üretim sistemi modelinin analiz sonucuna göre toplam tamamlanma süresi 187038,7 sn.dir. Bu çalışmanın temel amacı, bu süreyi minimize etmek ve çoklu beceriye sahip işçilerin işlere ve Serulara atanmasıdır. Bir sonraki bölümde Hat-Seru matematiksel modeli tanımlanmış, devamında ise veri seti ve analiz sonuçları ayrıntılı olarak sunulmuştur.



Şekil 3.4.Yetişkin Bisikleti Montajına Dair Üretim İşlemlerinin Akış Diyagramı

3.7. Dönen Seru Matematiksel Modelin Tanımlanması

Bu bölümde, Hat-Seru matematiksel modelinin oluşturulması amacıyla karma tamsayılı bir matematiksel modelleme sunulmuştur. Çalışkan vd. (2021) tarafından sunulan temel model, Seru üretim sisteminin temel prensiplerini yansıtmakla birlikte,

işçi rotasyonu ve yetkinlik yönetimi açısından genişletilmeye ihtiyaç duyulduğundan dolayı mevcut modele işçi yetkinlik yönetimi, etkin rotasyon planlaması, işlem sırası ilişkisi kısıtları eklenmiştir. Yapılan bu eklemelerle oluşan modelde işçiler atandıkları Serularda uzmanlık alanlarına daha çok yoğunlaşarak dinamik bir Dönen Seru üretim sistemi planlamasının yapılması hedeflenmiştir.

Seru üretim sisteminin en önemli özelliklerinden biri olan işçi rotasyonu, bu genişletilmiş modelde özel olarak ele alınmıştır. Geleneksel üretim hatlarında işçiler genellikle sabit görevlerde çalışırken, Seru sisteminde işçilerin farklı görevler arasında rotasyon yapması ve çoklu beceri kazanması esastır. Bu rotasyon sistemi hem işçilerin yetkinliklerini artırmakta hem de üretim sürecinin esnekliğini geliştirmektedir. Eklenen yeni kısıtlar, özellikle bu rotasyon dinamiğini optimize etmeyi ve işçilerin yeteneklerini en verimli şekilde kullanmayı hedeflemektedir.

Temel modele yapılan başlıca eklemeler şunlardır:

- ***İşçi yetkinlik kısıtları ve yönetimi:*** Seru sisteminde işçilerin çoklu beceri kazanması ve bu becerilerin etkin kullanımı.
- ***Detaylı rotasyon planlama kısıtları:*** İşçilerin optimal rotasyon planlarının oluşturulması.
- ***İşlem sırası ilişkileri:*** Üretim akışının verimli organizasyonu.
- ***İşlemlerin serulara optimal atanması:*** Seru'ların etkin kullanımı.
- ***Tamsayı optimizasyon sınıflandırması:*** Uygulanabilir çözümlerin garantilenmesi.

➤ **Eklenen Varsayımlar:**

1. ***İşçi Yetkinlik Seviyesi ve Uzmanlık Alanları:***

- 1. ve 2. işçiler tüm işlemlerde tam yetkinliğe sahiptir ($K=1$).
- 3. ve 4. işçiler spesifik alanlarda uzmanlığa sahiptir.
- 5. ve 6. işçiler sınırlı alanlarda yetkindir.

Bu varsayım, Seru sistemi içinde işçilerin kademeli gelişimini ve yetkinlik kazanma sürecini yansıtır. Tam yetkinliğe sahip işçilerin sistem esnekliğini artırması, diğer işçilerin belirli alanlardaki uzmanlıkları ile birleştiğinde, rotasyon planlamasında optimize edilmesi gereken bir faktör olarak değerlendirilir.

2. Rotasyon Dinamikleri:

- İşçiler uzmanlık alanlarında minimum belirlenen süre çalışmalıdır.
- Her işçi için maksimum çalışma süresi sınırı vardır.
- Rotasyonlar işçi yetkinliklerine göre optimize edilir.

Bu varsayım, Seru sisteminin temel prensibi olan rotasyonun etkin yönetimini sağlar. İşçilerin hem uzmanlık alanlarını koruması hem de yeni beceriler geliştirmesi dengeli bir şekilde planlanır.

➤ Mevcut Varsayımlar:

1. **Toplam Parti ve İşçi Sayısının Belirlenmiş Olması:** Sistemde işlenecek toplam parti sayısı ve mevcut işçi sayısı önceden belirlenmiştir.

2. **Ürün Tiplerinin İşlenmeye Hazır Olması:** Sistem başlangıcında, N farklı ürün tipi partiler halinde işlemeye hazır durumda bulunur. Her bir parti yalnızca tek bir ürün tipinden oluşur.

3. **Partiler Arasında Bölünme Yapılmaması:** Partiler arasında bölünme işlemi yapılmaz. Aynı partiye atanmış olan işçiler, aynı ürün tipine ait partiyi birlikte işler.

4. **İşlem/Görev Sayısının Tanımlanmış Olması:** Her ürün tipi için gerçekleştirilecek işlem veya görevlerin sayısı belirlenmiştir ve bu sayılar ürün tiplerine göre farklılık gösterir.

5. **İşlem Sürelerinin Seru ve İşçiye Bağlı Olması:** Her ürün tipinin işlem süresi, işleneceği seruya ve bu işlemi gerçekleştirecek işçilere göre farklılık gösterir.

6. **Talep ve Parti Büyüklüklerinin Sabit Olması:** Her ürün tipi için talep miktarları ve parti büyüklükleri sabit olarak belirlenmiştir ve birbirinden farklıdır.

7. **Partilerin Döngüsel Seru Sistemine Göre İşlenmesi:** Partiler, döngüsel bir Seru sistemi çerçevesinde işlenir.

8. **Seru Kapasitelerinin Belirlenmiş Olması:** Her seru için atanabilecek maksimum işçi sayısı belirlenmiştir.

9. **Hazırlık Sürelerinin Değişken Olması:** Farklı ürün tipleri arasında hazırlık süreleri değişkenlik gösterebilir.

10. **Partiler Arasında Taşımanın Olmaması:** Partiler arasında bir taşıma işlemi gerçekleştirilmez. Belirli bir ürün tipine ait parti, atandığı seruda işlem gördükten sonra tamamlanmış ürün olarak çıkar.

➤ Eklenen Kısıtlar

Öncelikle Liu vd. (2012) tarafından geliştirilen modelden yararlanan Çalışkan (2021) tarafından sunulan modele eklenen kısıtlar tanımlanmıştır. Ardından oluşan ek kısıtlı tam KTDP modeli indis, parametre ve kısıtlarla beraber sunulmuştur.

❖ Modele tanımlanan ek kısıtlar şu şekilde açıklanabilir:

1.İşçi YetkinlikKısıtı:

Bu kısıt, Seru üretim sisteminin temelini oluşturan işçi yetkinlik yönetimini matematiksel olarak modellemektedir. İşçilerin yetkinlik seviyelerine göre işlem atamalarını düzenleyerek, hem mevcut becerilerin etkin kullanımını hem de yeni becerilerin geliştirilmesini sağlar. Seru sisteminde kritik öneme sahip olan çoklu beceri geliştirme süreci, bu kısıt sayesinde sistematik bir şekilde yönetilir.

Matematiksel gösterimi:

$$M_{\gamma}^{\alpha\beta} \leq K_{\gamma}^{\alpha} \quad \forall \alpha, \beta, \gamma \quad (1)$$

Denklem (1)'de, α işçisinin γ işleminde β serusunda çalışıp çalışamayacağını belirler. Eğer işçi α , γ işleminde yetkin değilse (yani $K_n^{\alpha} = 0$), o zaman $M_{\gamma}^{\alpha\beta}$ değişkeni 0 olmalıdır, yani işçibu işleminde çalışamaz. Eğer yetkinse (yani $K_{\gamma}^{\alpha} = 1$), o zaman $M_{\gamma}^{\alpha\beta}$ değişkeni 1 olmalıdır, bu da işçi bu işleminde çalışabilir demektir. Bu kısıta ait İşçi Yetkinlik Katsayı matrisi veri setinin tanımlandığı bölümde gösterilmiştir.

Bu kısıtın Seru sistemi açısından sağladığı faydalar:

- İşçilerin mevcut yetkinliklerinin optimal kullanımı.
- Çoklu beceri gelişiminin sistematik planlanması.
- Üretim kalitesinin yetkinlik bazlı garantilenmesi.
- Rotasyon planlamasında yetkinlik temelli optimizasyon.

2. Gelişmiş Rotasyon Kısıtları:

Seru üretim sisteminin ayırt edici özelliği olan rotasyon mekanizması, bu kısıtlar grubuyla detaylı olarak tanımlanmıştır. Her bir alt kısıt, rotasyonun farklı bir boyutunu ele alır. Rotasyon kısıtları şu şekilde tanımlanmıştır:

a) Ana İşlemler için Minimum Parti Büyüklük Miktar Kısıtı:

Bu kısıt, Seru üretim sisteminde kritik öneme sahip olan uzmanlık-rotasyon dengesini sağlar. İşçilerin ana yetkinlik alanlarında minimum parti miktarını garanti ederek hem uzmanlıklarının korunmasını hem de üretim kalitesinin sürdürülebilirliğini temin eder. Kısıtın matematiksel gösterimi şu şekilde tanımlanmıştır:

$$\sum_{\gamma \in G} O_{\gamma}^{\alpha\beta} \geq 10 \times M_{\gamma}^{\alpha\beta} \quad \forall \gamma, \alpha, \beta \mid K_{\gamma}^{\alpha} = 1 \quad (2)$$

Burada:

$O_{\gamma}^{\alpha\beta}$: α işçisinin β serusunda γ işleminde karşıladığı parti miktarı.

$M_{\gamma}^{\alpha\beta}$: α işçisinin β serusunda γ işleminde çalışıp çalışmadığını gösteren ikili değişken.

K_{γ}^{α} : α işçisinin γ işlemindeki yetkinlik seviyesi.

Belirlenen 10 birimlik minimum parti büyüklük miktarı, detaylı analizler sonucu en uygun değer olarak belirlenmiş olup şunların yapılmasını sağlar:

- Uzmanlaşmanın devamlılığının sağlanması.
- İşlem kalitesinin yüksek seviyede tutulması.
- Verimlilik standardizasyonunun korunması.
- Kritik işlemlerde yetkinlik kaybının önlenmesi.

b) Serularda İşçi Bazlı Minimum Parti Büyüklük Miktarı:

Bu kısıt, işçilerin atandıkları Serularda yetkin oldukları işlemlerde belirli bir minimum parti büyüklük miktarında üretim yapmasını sağlar. Özellikle işçilerin atandıkları Serularda her işlem için minimum miktar işleme garantisi vererek

rotasyonun etkin bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamak amacıyla kullanılır. Test ve analizler sonucu en uygun değer olarak belirlenen 10 birimlik miktar, işçilerin Serularda yeterli deneyim kazanmasını ve üretim sürekliliğini sağlar. Kısıtın matematiksel gösterimi Denklem (3)'de tanımlanmıştır.

$$\sum_{\gamma \in G | K_{\gamma}^{\alpha} = 1} \sum_{\beta \in B} O_{\gamma}^{\alpha\beta} \geq 10 \times A_{\alpha}^{\beta} \quad \forall \gamma, \alpha, \beta \quad (3)$$

Burada:

G : Tüm işlemlerin kümesi.

A_{α}^{β} : α işçisinin β serusuna atanıp atanmadığını gösteren ikili değişken.

Seru sisteminde her işçinin atandığı Seruda yetkin olduğu işlemlerde dengeli bir parti miktarı işlemlerini sağlayan bu kısıt, aşağıdaki operasyonel hedefleri destekler:

- İşlem temelli minimum üretim miktarının garantilenmesi,
- Her işçinin yetkin olduğu işlemlerde aktif tutulması,
- Seru içi rotasyon etkinliğinin artırılması,
- İşlem temelli yetkinliklerin sürdürülebilirliğinin sağlanması.

c) İşlem Başına Maksimum Parti Büyüklük Miktar Sınırı:

Bu kısıt, Seru üretim sisteminin temel prensiplerinden biri olan dengeli iş dağılımını sağlar. İşçilerin tek bir işlemde fazla miktar işleyip diğer işlemlerden uzaklaşmasını önler. Kısıtın matematiksel gösterimi Denklem (4)'de tanımlanmıştır.

$$O_{\gamma}^{\alpha\beta} \leq 0.6 \times D_{\gamma} \quad \forall \gamma, \alpha, \beta \quad (4)$$

Burada:

D_{γ} : γ işleminin toplam parti büyüklük miktarı.

0.6: Test ve analizler sonucu belirlenen en uygun maksimum parti büyüklük miktar oranı.

Maksimum parti büyüklük miktarının toplam parti büyüklüğünün %60'ı ile sınırlandırılması şu avantajları sağlar:

- İş monotonluğunun önlenmesi.
- Fiziksel ve zihinsel yorgunluğun azaltılması.
- Rotasyon fırsatlarının artırılması.
- Çoklu beceri eğitim imkânlarının genişletilmesi.
- Sistem esnekliğinin artırılması.

3. İşlem Sırası İlişkileri Kısıtı:

Bu kısıt, Seru üretim sisteminde, çocuk ve yetişkin bisikletlerinin üretiminde işlemlerin belirli bir sırada yapılması gerekliliğini sağlar. Her bir bisiklet tipi için işlemlerin doğal akışını (örneğin montajdan önce hazırlık yapılması gibi) garanti eder. Kısıtın matematiksel gösterimi Denklem (5)'de tanımlanmıştır.

$$\sum_{\beta \in B} X_{\gamma 2, \beta} \geq \sum_{\beta \in B} X_{\gamma 1, \beta}, \quad \forall_{\gamma 1, \gamma 2} \mid P_{(\gamma 1, \gamma 2)} = 1 \quad (5)$$

Burada:

$P_{(\gamma 1, \gamma 2)}$: İşlem sırası ilişki matrisi

$\gamma 1$ işlemi $\gamma 2$ işleminden önce yapılacaksa $P_{(\gamma 1, \gamma 2)} = 1$ diğer durumda $P_{(\gamma 1, \gamma 2)} = 0$.

- **Çocuk bisikletleri için işlem sırası:** $1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 7$,
- **Yetişkin bisikletleri için işlem sırası:** $2 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 8 \rightarrow 9$.

Bu kısıt, işlemlerin doğru sırada yapılmasını garanti eder.

4. İşlemlerin Serulara Atanma Kısıtları

Bu kısıt grubu, çocuk ve yetişkin bisikletlerinin üretim işlemlerinin belirli Serulara atanmasını sağlar. Amaç, farklı tipteki bisikletlerin üretim süreçlerini birbirinden ayırmak ve her bir bisiklet tipinin belirlenen Serularda üretilmesini sağlamaktır. Bu kısıt, üretim planlaması ve ürün kalitesinin korunması açısından önemlidir.

Bu kısıtlar, çocuk bisikletlerinin belirli montaj hatlarında, yetişkin bisikletlerinin ise başka montaj hatlarında üretilmesini sağlar. İlgili kısıtlar Denklem (6) ve (7) gösterilmiştir.

$$\sum_{\gamma \in G_{\text{çocuk}}} B_{\gamma 1} = 1 \quad (6)$$

$$\sum_{\gamma \in G_{\text{yetişkin}}} B_{\gamma 2} = 1 \quad (7)$$

Burada:

$(B_{\gamma\beta})$ Değişkeni, γ numaralı işlemin β numaralı Seru'da yapılmasını belirtir.

1, 3, 6, 7 numaralı işlemler çocuk bisikletlerine ait olup 1. Seru'da gerçekleştirilir.

2, 4, 5, 8, 9 numaralı işlemler yetişkin bisikletlerine ait olup 2. Seru'da gerçekleştirilir.

Bu atama kısıtları, farklı bisiklet tiplerinin üretim işlemlerinin ayrı serularda gerçekleştirilmesini sağlayarak:

- Üretim akışının optimize edilmesini,
- İşlem standardizasyonunun sağlanmasını,
- Seru-spesifik uzmanlık gelişimini,
- Kalite kontrolünün etkinliğini destekler.

4. Ekleme: Tamsayı Sınıflandırması:

$$(O_{\gamma}^{\alpha\beta}) \in Z \quad \forall \gamma, \alpha, \beta \quad (8)$$

Burada:

$(O_{\gamma}^{\alpha\beta})$ α İşçisinin β serusunda γ işleminde yaptığı iş miktarı.

Bu sınıflandırma:

- İş miktarlarının bölünemez birimler halinde atanmasını sağlar,

- Üretim planlamasının pratik uygulanabilirliğini garanti eder,
- Operasyonel karmaşıklığı azaltır,
- Kontrol ve takip süreçlerini kolaylaştırır.

Eklenen yeni kısıtlarla beraber oluşan tam matematiksel model şu şekilde oluşmaktadır:

İndisler;

α : İşçiler, ($\alpha=1,2, \dots ,A$)

β : Serular, ($\beta=1,2, \dots ,B$)

γ : İşlemler, ($\gamma=1,2, \dots ,G$)

Parametreler;

K_{γ}^{α} : α işçisinin γ işleminde çalışma yetkinliği (Birim: 0 veya 1).

L : Yeterince büyük bir sayı

D_{γ} : γ . Parti büyüklüğü (adet/parti)

R_{β} : β . Serunun kapasitesi (maksimum işçi sayısı)

H_{γ}^{β} : γ . İşleminin β . Serudaki hazırlık süresi

$V_{\gamma}^{\alpha\beta}$: γ . İşleminin β . Seruda α işçi tarafından Birim parti işlem süresi (sn/parti)

$P_{(\gamma_1, \gamma_2)}$: İşlem sırası ilişki matrisi. γ_1 işlemi γ_2 işleminden önce yapılıncaksa $P_{(\gamma_1, \gamma_2)} = 1$ diğer durumda $P_{(\gamma_1, \gamma_2)} = 0$.

Karar Değişkenleri;

$O_{\gamma}^{\alpha\beta}$: α işçisinin β . Seruda γ . İşleminde yaptığı parti miktarı (adet)

A_{α}^{β} : α işçisi β . Seruya atanırsa 1, diğer durumda 0

$B_{\gamma\beta}$: γ işlemi β . Seruya atandıysa 1, diğer durumda 0

C_γ^β : γ işleminin β . Seruda tanımlananPartideki toplam süre (hazırlık + işlem süresi)

T_β : β . Serudaki işlemlerin tamamlanma süresi

Ω : Tüm Serulardaki toplam tamamlanma süresi

Yardımcı Karar Değişkeni:

$M_\gamma^{\alpha\beta}$: α işçisi ve γ işlemi β . Seruya atandıysa 1, diğer durumda 0

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Min } \Omega \quad (9)$$

Kısıtlar:

$$M_\gamma^{\alpha\beta} \leq K_\gamma^\alpha \quad \forall \gamma, \alpha, \beta \quad (10)$$

$$\sum_{\gamma \in G} O_\gamma^{\alpha\beta} \geq 10 \times M_\gamma^{\alpha\beta} \quad \forall \gamma, \alpha, \beta \mid K_\gamma^\alpha = 1 \quad (11)$$

$$\sum_{\gamma \in G \mid K_\gamma^\alpha = 1} \sum_{\beta \in B} O_\gamma^{\alpha\beta} \geq 10 \times A_\alpha^\beta \quad \forall \gamma, \alpha, \beta \quad (12)$$

$$O_\gamma^{\alpha\beta} \leq 0.6 \times D_\gamma \quad \forall \gamma, \alpha, \beta \quad (13)$$

$$\sum_{\beta=1}^B A_\alpha^\beta = 1 \quad \forall \alpha \quad (14)$$

$$\sum_{\alpha=1}^A A_\alpha^\beta = R_\beta \quad \forall \beta \quad (15)$$

$$\sum_{\beta=1}^B B_{\gamma\beta} = R_\beta \quad \forall \gamma \quad (16)$$

$$C_\gamma^\beta \geq V_\gamma^{\alpha\beta} O_\gamma^{\alpha\beta} \quad \forall \gamma, \alpha, \beta \quad (17)$$

$$T_{\beta} \geq \sum_{\gamma=1}^G C_{\gamma}^{\beta} + \sum_{\gamma=1}^G H_{\gamma}^{\beta} B_{\gamma\beta} \quad \forall \beta \quad (18)$$

$$\Omega \geq T_{\beta} \quad \forall \beta \quad (19)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{\alpha=1}^A \sum_{\beta=1}^B O_{\gamma}^{\alpha\beta} \\ & = D_{\gamma} \quad \forall \gamma \end{aligned} \quad (20)$$

$$O_{\gamma}^{\alpha\beta} \leq L \cdot M_{\gamma}^{\alpha\beta} \quad \forall \alpha, \beta, \gamma \quad (21)$$

$$M_{\gamma}^{\alpha\beta} \leq A_{\alpha}^{\beta} \quad \forall \alpha, \beta, \gamma \quad (22)$$

$$M_{\gamma}^{\alpha\beta} \leq B_{\gamma\beta} \quad \forall \alpha, \beta, \gamma \quad (23)$$

$$M_{\gamma}^{\alpha\beta} \geq A_{\alpha}^{\beta} + B_{\gamma\beta} - 1 \quad \forall \alpha, \beta, \gamma \quad (24)$$

$$\sum_{\gamma \in G_{\text{çocuk}}} B_{\gamma 1} = 1 \quad (25)$$

$$\sum_{\gamma \in G_{\text{yetişkin}}} B_{\gamma 2} = 1 \quad (26)$$

$$\sum_{\beta \in B} X_{\gamma 2, \beta} \geq \sum_{\beta \in B} X_{\gamma 1, \beta}, \quad \forall_{\gamma 1, \gamma 2} \mid P_{(\gamma 1, \gamma 2)} = 1 \quad (27)$$

$$B_{\gamma\beta}, A_{\alpha}^{\beta}, M_{\gamma}^{\alpha\beta} \in \{0, 1\} \quad \forall \alpha, \beta, \gamma \quad (28)$$

$$O_{\gamma}^{\alpha\beta} \in \mathbb{Z} \quad \forall \gamma, \alpha, \beta \quad (29)$$

Burada;

Denklem (9) toplam tamamlanma süresinin minimizasyonunu amaçlar. Denklem (10) işçilerin yetkinlik durumlarına göre Seru atamalarını belirler. Denklem (11), (12) ve (13) sırasıyla, yetkin işçilerin uzman oldukları işlemlerde minimum parti büyüklük miktarını belirler, her işçinin atandığı Seruda toplam minimum parti büyüklük miktarını garanti eder ve işçilerin bir işlemde işleyebilecekleri maksimum parti büyüklük miktarını %60'ı ile sınırlar. Denklem (14) işçilerin tek bir Seruda çalışmasını sağlarken,

Denklem (15) Serudaki işçi sayısının kapasite limitlerinde kalmasını garanti eder. Denklem (16) her işlem tipinin bir Seruya atanmasını zorunlu kılar. Denklem (17) parti işlem sürelerinin işçi yetkinliği ve birim işlem süreleri temel alınarak hesaplanmasını sağlarken, Denklem (18) Serulardaki toplam tamamlanma süresini hesaplar. Denklem (19) işlem süresinin belirlenen maksimum süreyi aşmamasını kontrol eder. Denklem (20) her işlem için gerekli parti büyüklük miktarının karşılanmasını zorunlu kılar. Denklem (21) parti büyüklük miktarlarına ait tamamlanma sürelerinin belirlenen limiti aşmamasını sağlar. Denklem (22), (23) ve (24) işçi ve işlem partisi atamalarının uyumluluğunu zorunlu tutar. Denklem (25) ve (26) sırasıyla çocuk ve yetişkin bisikletlerinin ilgili serulara atanmasını sağlar. Denklem (27) Seru üretim sisteminde, çocuk ve yetişkin bisikletlerinin üretiminde işlemlerin belirli bir sırada yapılması gerekliliğini sağlar. Her bir bisiklet tipi için işlemlerin doğal akışını (örneğin montajdan önce hazırlık yapılması gibi) garanti eder. Denklem (28) atama değişkenlerinin ikili ($0 - 1$) değer almasını zorunlu kılar, Denklem (29) işlem miktarlarının tamsayı olmasını sağlar.

3.8. Tasarlanan 2 Serulu Model için Toplanan Veri Seti

Bu çalışma, geleneksel üretim hattı ile Seru üretim montaj hattı arasında verimlilik farklarını incelemek amacıyla 2 Seru'lu bir model tasarımı üzerine odaklanmıştır. Bu model, Dönen Seru modu temelinde sunulmuş ve üretim süreçlerinin optimize edilmesini hedeflemiştir.

Seru Üretim Sistemi, geleneksel üretim hattına kıyasla daha esnek, verimli ve iş gücünün daha etkin kullanılmasını sağlayan bir yapıdır. Bu bağlamda, 2 Seru'lu model, işçilerin farklı üretim süreçlerinde yetkinliklerine göre atanması ve bu süreçlerin toplam tamamlanma süresini minimize edecek şekilde optimize edilmesi üzerine kuruludur. Geleneksel üretim hattı ile 2 Seru'lu model arasındaki farklar, özellikle toplam tamamlanma süresi ve iş gücünün yeniden düzenlenmesi açısından incelenmiş ve analiz edilmiştir. Tablo 3.2, Dönen Seru modelin indis tanımlamasını yapmaktadır:

Tablo 3.2.2 Serulu Model için İndis Değerlerinin Tanımlanması

İndis	2 Serulu Model
İşçi Sayısı (α)	6
Hat Sayısı (β)	2

İşlem Sayısı (γ)	9
---	----------

Tablo 3.2 incelendiğinde, geleneksel montaj hattında 6 işçi çalışmaktadır. Bu işçiler, çoklu vasıflı yeteneklere sahiplerdir. İşçilerin bu özellikleri göz önüne alınarak 2 Serulu bir model tasarlanmıştır.

Geleneksel üretim montaj hattı ve Seru üretim modeli karşılaştırılmış, her iki modelde de toplam parti tamamlanma süresi temel alınarak kıyaslamalar yapılmıştır.

Toplam tamamlanma süresinin karşılaştırılması kapsamında, geleneksel üretim montaj hattı ile üretim yapan bisiklet üreticisinden gerekli veri seti elde edilmiştir. Bu veri setinde, montaj hattı içinde 9 farklı işlem tipi bulunmaktadır. İşlem tiplerinin parti büyüklüklerini, 6 işçi, grup olarak ve yardımlaşarak gerçekleştirmektedir.

Geleneksel montaj hattından farklı olarak, Seru üretim modelinde her bir işlem tipinin, belirli bir Seru'ya atanmış işçiler tarafından organize bir şekilde montajı yapılır. Geleneksel modelde ise bir işlem tipine birden fazla işçi aynı anda bakabilir ve montaj işlemleri, darboğaz oluşabilecek yerlerde, tek bir işlem tipine odaklanan işçiler tarafından desteklenerek tamamlanır.

Sıradaki tanımlanan veri seti işlemlerine ait parti büyüklük miktarlarıdır. Bu miktarlar Tablo 3.3'de gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Parametre (D_γ): İşlem tiplerine Ait Parti Büyüklük Miktarları (Adet/Parti)

İşlem Tipi (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Parti Büyüklük Miktarı (D_γ)	35	40	44	36	42	38	37	45	32

Tablo 3.3 incelendiğinde, 9 farklı işlem tipinin parti büyüklük miktarları belirlenmiştir. Bu miktarlar, üretim planlama stratejisi doğrultusunda firma tarafından belirlenen verilerinden elde edilmiştir.

(D) parametresi, tek bir indis ile tanımlandığından, her bir işlem tipi için son üretim dönemini kapsayan 9 farklı parti büyüklüğü (miktar) elde edilmiştir. Örneğin, 1. işlem tipinde üretilen parti büyüklüğü 35 adet olarak belirlenmiştir. Bu parti büyüklüklerinin matematiksel gösterimi ise şu şekilde yapılabilir:

- (D_γ) = γ işlem tipi için parti büyüklüğünü gösterir.

Örneğin:

- $(D_1) = 35$ (Çocuk bisikleti için)
- $(D_2) = 40$ (Yetişkin bisikleti için)
- $(D_3) = 44$ (Çocuk bisikleti için)
- $(D_4) = 36$ (Yetişkin bisikleti için)
- $(D_5) = 42$ (Çocuk bisikleti için)
- $(D_6) = 38$ (Yetişkin bisikleti için)
- $(D_7) = 37$ (Çocuk bisikleti için)
- $(D_8) = 45$ (Yetişkin bisikleti için)
- $(D_9) = 32$ (Yetişkin bisikleti için)

Parti büyüklüklerindeki değişkenlikler firmanın Üretim planlama stratejisine göre belirlenmektedir;

Firma, üretim süreçlerinde hem stok yönetimini hem de talep bazlı üretimi entegre eden Hibrit Üretim Stratejisini uygulamaktadır. Bu strateji, Stoka Üretim (Make-to-Stock, MTS) ve Siparişe Üretim (Make-to-Order, MTO) sistemlerinin avantajlarını bir arada kullanmayı hedeflemektedir.

Firma, bir üretim periyodundaki verilerine göre değişken parti büyüklükleri ile çalışmaktadır:

Çocuk bisikletleri için:

- $D_1 = 35$ adet
- $D_3 = 44$ adet
- $D_6 = 38$ adet
- $D_7 = 37$ adet

(Toplam: 154 adet)

Yetişkin bisikletleri için:

- $D_2 = 40$ adet
- $D_4 = 36$ adet
- $D_5 = 42$ adet
- $D_8 = 45$ adet
- $D_9 = 32$ adet

(Toplam: 195 adet)

Parti büyüklüklerindeki değişkenlik, firmanın uyguladığı hibrit stratejinin bir sonucudur. Firma, minimum stok seviyesini (güvenlik stoku) korumak için MTS sistemiyle çalışırken, aynı zamanda özel müşteri taleplerini karşılamak için MTO sistemini kullanmaktadır. Bu yaklaşım sayesinde:

1. Talep dalgalanmalarına hızlı yanıt verebilmekte,
2. Stok maliyetlerini optimize edebilmekte,
3. Müşteri memnuniyetini artırabilmekte,
4. Tedarik zinciri verimliliğini yükseltebilmektedir.

Örneğin, $D_1=35$ ile $D_8=45$ arasındaki 10 adetlik fark, firmanın hem temel stok yönetimini hem de değişken müşteri taleplerini karşılama kabiliyetini göstermektedir. Bu hibrit yaklaşım, modern üretim sistemlerinin kompleks yapısına uyum sağlama ve pazar dinamiklerine hızlı yanıt verme konusunda firmaya önemli avantajlar sağlamaktadır.

Sıradaki veri seti; Hatlardaki hazırlık süreleri $(sn)(H_V^\beta)$ ve Birim parti işlem süresi $(sn)(V_V^{\alpha\beta})$ son 6 aylık üretim verilerini içermektedir. Tüm sürelerde önemli dalgalanmalar gözlenmediğinden dolayı geometrik ortalama kullanılarak hesaplanmıştır. Bu yöntem daha tutarlı veriler elde etmek için tercih edilmiştir. (H_V^β) için oluşturulan süreler Tablo 3.4’de gösterilmiştir.

Tablo 3.4. Parametre 2 (H_V^β): İşlem Tiplerinin Hatlardaki Hazırlık Süreleri (Sn.)

Hat	İşlem 1	İşlem 2	İşlem 3	İşlem 4	İşlem 5	İşlem 6	İşlem 7	İşlem 8	İşlem 9
1	34	-	28	-	-	32	27	-	-
2	-	42	-	37	45	-	-	38	25

Tablo 3.4’de tanımlanan hazırlık süreleri dikkate alındığında;

Serulardaki hazırlık sürelerinin belirlenmesinde izlenen adımlar şu şekilde tanımlanmıştır:

1. Adım: İlgili işçi tarafından üretilecek ürün tipiyle ilgili somut tasarım incelemesi yapılır.

2. Adım: Ürünün montajıyla ilgili hammaddeler, ilgili işçi tarafından kullanım alanına alınır.

Bu süreç sayesinde, ilgili işçi hem bisikletin genel montaj parçalarını hem de özel parçaları önüne alarak hazırlık süresini tamamlar ve montaj işlemine hazır hale gelir. Japon Seru üretim sistemi, hareketli Serulara, sürekli iyileştirme ve esneklik prensiplerine dayanır. Bu prensiplere uygun olarak hazırlık sürelerini azaltmak, müşteri taleplerine daha hızlı ve esnek bir şekilde yanıt verebilmek adına önemlidir. Tablo 3.5’de iki sistemin hazırlık süreleri temelindeki kıyaslaması gösterilmiştir.

Tablo 3.5. Geleneksel ve Seru Üretim Sistemlerinin Hazırlık Süresi Bazında Kıyaslanması

İşlem	Geleneksel Hat (Ölçülmüş)	Seru (Uygulanan)	Seru İyileştirme Oranı
İşlem 1	49 sn.	34 sn.	%30.6 azalma
İşlem 2	60 sn.	42 sn.	%30.0 azalma
İşlem 3	40 sn.	28 sn.	%30.0 azalma
İşlem 4	53 sn.	37 sn.	%30.2 azalma
İşlem 5	64 sn.	45 sn.	%29.7 azalma
İşlem 6	46 sn.	32 sn.	%30.4 azalma
İşlem 7	39 sn.	27 sn.	%30.8 azalma
İşlem 8	54 sn.	38 sn.	%29.6 azalma
İşlem 9	36 sn.	25 sn.	%30.6 azalma

Tablo 3.5 incelendiğinde, Seru üretim sistemine geçişle birlikte hazırlık sürelerinde ortalama %30,2 oranında bir iyileşme sağlandığı görülmektedir. Bu iyileşme, özellikle rotasyonlu Seru sisteminin getirdiği kompakt iş istasyonu düzeni, işçilerin çoklu beceri kullanımı, iş rotasyonunun getirdiği esneklik ve optimize edilmiş malzeme yerleşimi ve hazırlık prosedürlerinden kaynaklanmaktadır. Şu faydaları da beraberinde getirebilir:

- Kompakt iş istasyonu düzeni.
- İşçilerin çoklu beceri kullanımı.
- İş rotasyonunun getirdiği esneklik.
- İyileştirilmiş malzeme yerleşimi ve hazırlık prosedürleri.

Bu sonuçlar, rotasyonlu Seru sisteminin hazırlık süreleri açısından önemli verimlilik artışı sağladığını göstermektedir.

Seru sistemindeki hazırlık süreleri, literatürdeki benzer dönüşüm çalışmaları (Miltenburg, 2001; Liu vd., 2013) ve sektörel uygulamalardan (Canon, Sony,

Panasonic) edinilen veriler ışığında tahmin edilmiştir. Bu çalışmalarda Seru sistemine geçişte hazırlık sürelerinde ortalama %25-35 azalma görülmüştür. Mevcut sistemde ölçülen hazırlıksüreleri baz alınarak, literatürdeki azalma oranları ve uzman görüşleri doğrultusunda Seru sistemi için hazırlıksüreleri hesaplanmıştır. Uygulanan süreler, sistemin U biçimindeki yerleşimi, kompakt yapısı, çok yönlü çalışanların varlığı ve tek parça akış prensipleri dikkate alınarak yapılmıştır. Belirtilen örnek detaylandırıldığında;

Miltenburg (2001)'in çalışmasına göre, Seru sistemine geçen firmalarda hazırlıksürelerinde %25-35 azalma gözlemlenmiştir. Liu vd. (2014), hazırlıksürelerindeki azalmanın sebeplerini; kompakt yerleşim, U-şeklinde dizilim, minimum hareket/taşıma ve çok yönlü işçiler olarak belirtmişlerdir. Saha çalışmalarında ise şu şekilde gelişimler kaydedilmiştir (Liu vd., 2014):

- Canon (1990-1995): Hazırlıksürelerinde %32 azalma,
- Sony (1994): Hazırlıksürelerinde %28 azalma,
- Panasonic (1998): Hazırlıksürelerinde %30 azalma.

Çalışmanın ikinci bölümünde tanımlandığı gibi Japon Seru üretim sistemi, hareketli Serulara, sürekli iyileştirme ve esneklik prensiplerine dayanır. Bu prensiplere uygun olarak hazırlık sürelerini azaltmak, müşteri taleplerine daha hızlı ve esnek bir şekilde yanıt verebilmek adına önemlidir.

Sıradaki veri Serulardaki maksimum işçi sayısıdır. Bu sayı başlangıçta da tanımlandığı üzere 3 olarak belirlenmiş ve Tablo 3.6'da gösterilmiştir.

Tablo 3.6. Parametre 3(R_β): Maksimum İşçi Sayısı

Tanımlama/Model	2 Serulu Model	
Hat (β)	1	2
Hatlardaki Maksimum İşçi Sayısı (R_β)	3	3

Tablo3.6 incelendiğinde(R_β) parametresi için tasarlanan modeller için Serulardaki maksimum işçi sayısının belirlenmesi gerekmektedir. Bu sayı da 3 işçi olarak belirlenmiştir. Örneğin, bir Seru içerisinde 4 işçi çalışamaz ama 1 işçi çalışabilir şekilde modele tanımlanmıştır.

Sıradaki tanımlanacak veri (V) parametresi içindir. (V) Parametresi, her işlem (γ), seru (β) ve işçi (α) kombinasyonu için işlem tipi parti işleme sürelerini içerir. İşlemlerin işçiler tarafından 2 farklı hatta yapıldığını tanımlayan bu süreler, hazırlık

sürelerinde olduğu gibi yine son 6 ayda gerçekleştirilen işlemlerden elde edilen ortalama değerlerdir. Bunlar, işçilerin belirli görevlerdeki yetkinlik seviyelerini ve iş süreçlerinin verimliliğini değerlendirmek için kritik önem taşımaktadır. 2 Serulu Model için belirlenen Birim Parti İşlem süreleri (sn.) Tablo 3.7’de gösterilmiştir.

Tablo 3.7.2 Serulu Model için Parametre 4 ($V_Y^{\alpha\beta}$): Birim Parti İşlem Süreleri (Sn/Parti)

Hat 1 (Çocuk Bisikleti)					Hat 2 (Yetişkin Bisikleti)				
İşçiler	İşlem 1	İşlem 3	İşlem 6	İşlem 7	İşlem 2	İşlem 4	İşlem 5	İşlem 8	İşlem 9
İşçi 1	1142	1198	1167	1186	1358	1312	1334	1289	1276
İşçi 2	1156	1187	1178	1193	1342	1324	1345	1298	1287
İşçi 3	1223	1256	1245	1234	0	0	0	0	0
İşçi 4	0	0	0	0	1387	1378	1392	1367	1354
İşçi 5	1412	1387	1434	1398	0	0	0	0	0
İşçi 6	0	0	0	0	1478	1512	1498	1467	1445

Tablo 3.7, işçilerin rotasyonlu Seru sistemindeki performanslarını göstermektedir. 0 değerleri, ilgili işçinin o işlem için yetkin olmadığını veya o işleme atanmaması gerektiğini göstermektedir. Bu düzenleme, rotasyonlu sistemin etkinliğini artırmak ve işçilerin optimal kullanımını sağlamak amacıyla yapılmıştır.

İşçilerin yetkinlik durumlarını gösteren (K_Y^{α}) matrisi, rotasyonlu Seru sisteminde kritik bir rol oynamaktadır. Yetkinlik matrisi, işçilerin uzmanlık seviyelerini ve rotasyon kapasitelerini belirleyen temel veri setidir ve Tablo 3.8’de gösterilmiştir.

Tablo 3.8. İşçilerin Yetkinlik Matrisi (K_Y^{α})

İşçi \ İşlem	İşlem 1	İşlem 2	İşlem 3	İşlem 4	İşlem 5	İşlem 6	İşlem 7	İşlem 8	İşlem 9
İşçi 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
İşçi 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
İşçi 3	1	0	1	0	0	1	1	0	0
İşçi 4	0	1	0	1	1	0	0	1	1
İşçi 5	1	0	1	0	0	1	1	0	0
İşçi 6	0	1	0	1	1	0	0	1	1

Tablo 3.8’de görüldüğü üzere, İşçi 1 ve İşçi 2 tüm işlemlerde tam yetkinliğe sahipken ($K = 1$), diğer işçiler belirli alanlarda uzmanlaşmıştır. Özellikle dikkat çeken

nokta, İşçi 3 ve İşçi 5'in çocuk bisikleti üretimindeki işlemlerde (İşlem 1, 3, 6, 7), İşçi 4 ve İşçi 6'nın ise yetişkin bisikleti üretimindeki işlemlerde (İşlem 2, 4, 5, 8, 9) yetkinlik sahibi olmalarıdır.

İşlem sırası ilişkileri, üretim sürecinin doğru akışını garanti altına alan önemli bir veri setidir. Bu ilişkiler (P)matrisi ile Tablo 3.9'da gösterilmiştir.

Tablo 3.9. İşlem Sırası İlişkileri Matrisi (P)

İşlem (P)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	1	0	0	0
4	0	0	0	0	1	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	1	0
6	0	0	0	0	0	0	1	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 3.9'da sunulan işlem sırası ilişki matrisi, montaj sürecindeki kritik bağımlılıkları göstermektedir. Örneğin, $(P_{1,3}) = 1$ değeri, İşlem 1'in İşlem 3'ten önce yapılması gerektiğini belirtir. Bu ilişkiler şu sıralamayı zorunlu kılar:

- Çocuk bisikletleri için: $1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 7$.
- Yetişkin bisikletleri için: $2 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 8 \rightarrow 9$.

Modele eklenen kısıtlarla, çocuk ve yetişkin bisiklet üretiminde işlemlerin belirli Serulara atanması sağlanmıştır. Bu atamalar sonucunda oluşturulan veri seti, Tablo 3.10'da sunulmuştur.

Tablo 3.10. Belirli İşlemlerin Belirli Serulara Atanması ($B_{\gamma\beta}$) Değişkeni

İşlem Atamaları ve Hat Dağılımı ($B_{\gamma\beta}$)		
İşlem No	1. Hat'ta Yapılır (B)	2. Hat'ta Yapılır (B)
1	1	0
2	0	1
3	1	0
4	0	1
5	0	1

6	1	0
7	1	0
8	0	1
9	0	1

Tablo 3.10, her bir işlemin hangi Seru'da yapılacağını gösteren (B)değişkenini kapsar. (B)Değişkeni, işlemlerin belirli bir Seruya atanıp atanmadığını belirten ikili (0 veya 1) bir değerdir.

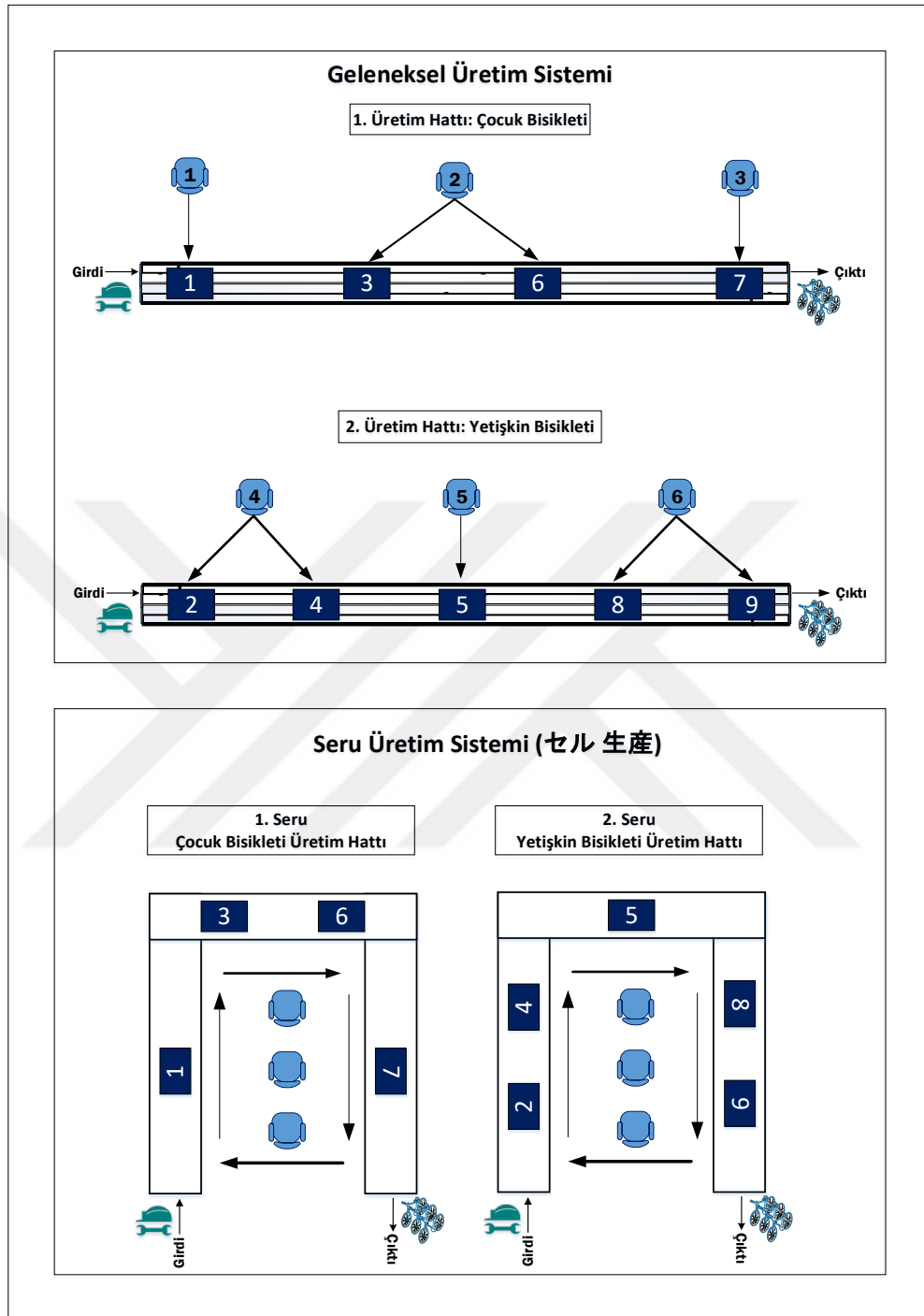
- “1” değeri, işlemin belirtilen seruda yapılacağını,
- “0” değeri ise o seruda yapılmayacağını ifade eder.

Bu atamalar, modelin optimize edilmesi sürecinde parti büyüklüklerinin dengelenmesi, kaynakların etkin kullanımı ve toplam tamamlanma süresinin minimize edilmesi amacıyla belirlenmiştir.

Tablodaki (3.10) örneğe göre:

- 1. İşlem, 3. İşlem, 6. İşlem ve 7.İşlem1. hatta yapılırken,
- 2. İşlem, 4. İşlem, 5. İşlem, 8. İşlem ve 9.İşlem2. hatta yapılmaktadır.

Tanımlanan işlem tipi dağılımı, çocuk ve yetişkin bisiklet üretimi için gereken montaj işlemlerinin hatlara uygun şekilde dağıtılmasını sağlar. Çocuk ve yetişkin bisikletlerin üretiminde yapılan işleri tanımlayan görsel, Şekil 3.5’de sunulmuştur. Son veri setiyle birlikte, geleneksel üretim sisteminde yapılan çocuk ve yetişkin bisiklet üretim işlemlerinin Seru üretim planlamasında da farklı hatlarda yapılması sağlanmıştır. Parti büyüklüklerine ait işlemler belirlenen hatlarda kalarak bisiklet üretimlerinin tam anlamıyla gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Ancak, burada işçilerin atama problemi ortaya çıkmaktadır. Modele eklenen ilk kısıt olan işçi yetkinlik katsayıları ile bu problemin ortadan kaldırılması hedeflenmiştir.



Şekil 3.5. Geleneksel Üretim Hattının Seru Üretim Sistemine Evrilmesi

3.9. Tasarlanan Dönen Seru Model Analizi ve Elde Edilen Sonuçlar

Tasarlanan Dönen Seru modelinin analizi, Lingo 18.0 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan analize dair sonuç çıktısı Ekler bölümünde tanımlanmıştır. Modelin temel amacı, toplam tamamlanma süresini minimize etmektir.

Analiz sonucunda, toplam tamamlanma süresi temelinde geleneksel üretim hattı ile Dönen Seru modeli karşılaştırılmıştır. Sonuçlar şu şekildedir:

- ✓ Dönen Seru modelinde toplam tamamlanma süresi: 127943.0 sn.
- ✓ Geleneksel üretim modelinde toplam tamamlanma süresi: 187038.7sn.

Bu sonuçlara göre, Hat-Seru modeli geleneksel modele kıyasla önemli bir zaman tasarrufu sağlamaktadır. İyileştirme oranı şu şekilde hesaplanabilir:

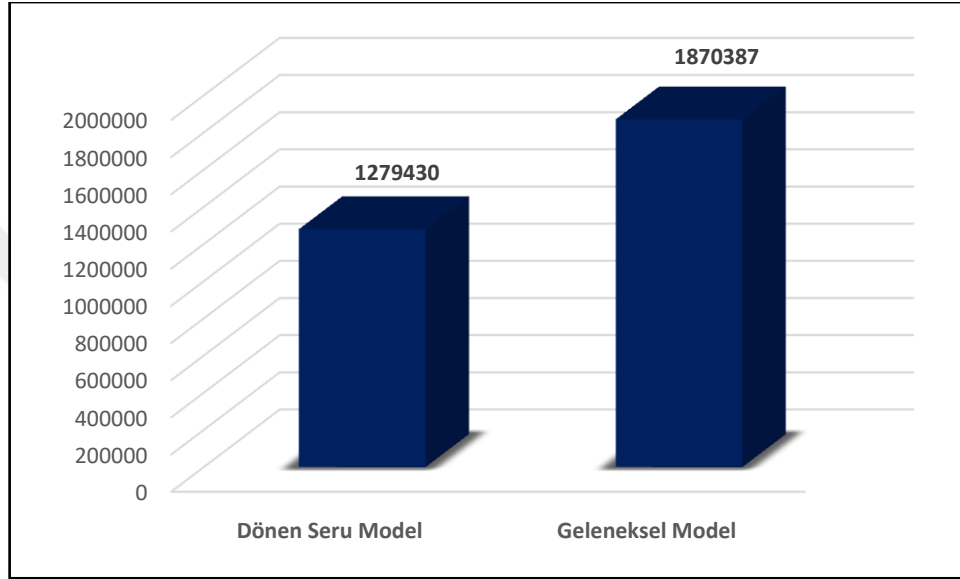
- İyileştirme Oranı = (Geleneksel Süre- Hat-Seru Süresi) / Geleneksel Süre * 100 = (187038.7- 127943.0) / 187038.7* 100 ≈ **31.60%**
- iş günü = 8 saat = 8 * 60 * 60 = 28,800 saniye
- ✓ Geleneksel sistem (187038,7saniye): 187038.7/ 28,800 = 6.49iş günü ≈ **6.5 iş günü**
- ✓ Dönen Seru sistemi (127,943 saniye): 127,943 / 28,800 = 4.44 iş günü ≈ **4.5 iş günü**

Bu hesaplama sonucunda, Dönen Seru modelinin geleneksel üretime göre yaklaşık %31,60 oranında bir zaman tasarrufu sağladığı görülmektedir. Diğer bir deyişle, Dönen Seru modeli, geleneksel üretim sistemine kıyasla üretim süresini yaklaşık %32 oranında azaltmaktadır. Toplam iş günü olarak hesaplandığında; toplam işlemlerin görülme süresi, Dönen Seru sisteminde yaklaşık olarak 4,5 gün sürerken, Geleneksel üretim sisteminde yaklaşık olarak 6,5 gün sürmektedir.

Bu önemli iyileştirme, Hat-Seru modelinin üretim verimliliğini önemli ölçüde artırdığını ve işletmenin üretim kapasitesini daha etkin bir şekilde kullanmasını sağladığını göstermektedir. Sonuç olarak, Hat-Seru modelinin uygulanması, işletmenin rekabet gücünü artırarak, maliyetlerin düşürülmesine ve müşteri taleplerinin daha hızlı karşılanmasına olanak tanımaktadır.

Bu süre farkı, Hat-Seru modelinin üretim verimliliğini önemli ölçüde artırdığını ve işletmenin üretim kapasitesini daha etkin bir şekilde kullanmasını sağladığını ortaya koymaktadır. Geleneksel modeldeki uzun üretim süresi, Hat-Seru modelinin avantajları ile büyük oranda düşürülmüştür. Bunun başlıca sebepleri arasında işçi yetkinlik katsayılarının kullanılması, işçilerin atandıkları Serularda rotasyona teşvik edilmesi, işlemlerin hatlara optimal şekilde dağıtılması ve işçilerin uygun şekilde atanması yer almaktadır.

Sonuç olarak, Hat-Seru modelinin uygulanmasıyla elde edilen bu verimlilik artışı, işletmenin rekabet gücünü artırarak, maliyetlerin düşürülmesine ve müşteri taleplerinin daha hızlı karşılanmasına imkân sağlamaktadır. Bu da Hat-Seru modelinin geleneksel üretim sistemine kıyasla hem zaman hem de maliyet açısından ne kadar üstün olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Şekil 3.6’da geleneksel üretim hattı ile Dönen Seru modeli arasındaki toplam tamamlanma süre kıyaslaması gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Geleneksel Üretim Hattı ile Dönen Seru Model Arasındaki Toplam Tamamlanma Süre Kıyaslaması

Modelin kurulumunda işçi yetkinlik katsayıları, işlerin hatlara uygun şekilde dağıtılması ve optimal işçi atamalarının yapılması gibi unsurların dikkate alınması, Seru modelinin etkinliğini önemli ölçüde artırmıştır. Bu unsurlar, üretim sürecinin daha verimli ve sistematik bir şekilde işlemesine olanak tanımış ve sonuç olarak üretim süresi minimum seviyeye indirilmiştir. Modelin etkinliği, işçilerin doğru işlere atanmasıyla sağlanan zaman tasarrufu ve üretim sürecinin daha hızlı ve akıcı bir şekilde işlemesiyle de desteklenmiştir.

Kurulan model, yalnızca toplam süreyi minimize etmekle kalmamış, aynı zamanda işçi performansını ve üretim kapasitesini de en üst düzeye çıkarmıştır. İşçi yetkinlik katsayılarının kullanılması, her işçinin en verimli olduğu görevde çalışmasını sağlamış ve böylece üretim süreçleri optimize edilmiştir. Bu durum, işçi verimliliğinin artmasına, işlerin hızlı ve hatasız bir şekilde tamamlanmasına katkıda bulunmuştur.

Dolayısıyla, Seru modeli, geleneksel üretim sistemine göre hem zaman hem de maliyet açısından üstün bir çözüm sunmaktadır. Zaman tasarrufu, üretim maliyetlerini azaltırken aynı zamanda müşteri taleplerinin daha hızlı karşılanmasına imkan tanımaktadır. Bu nedenle, Seru modeli, işletmelerin rekabet gücünü artıran ve uzun vadede sürdürülebilirliği destekleyen bir üretim yaklaşımı olarak öne çıkmaktadır.

Elde edilen diğer sonuçlar sırasıyla detaylı olarak açıklanmıştır.

❖ Öncelikle (R_β) değişkeni hesaplanmıştır. Bu değişken Seru üretim sisteminde her bir Seru'ya atanabilecek maksimum işçi sayısını göstermektedir.

$R_1 = 3$: Bu değer, 1. Seru'da maksimum 3 işçinin görev alabileceğini gösterir.

$R_2 = 3$: Bu değer ise, 2. Seru'da da maksimum 3 işçinin görev alabileceğini ifade eder.

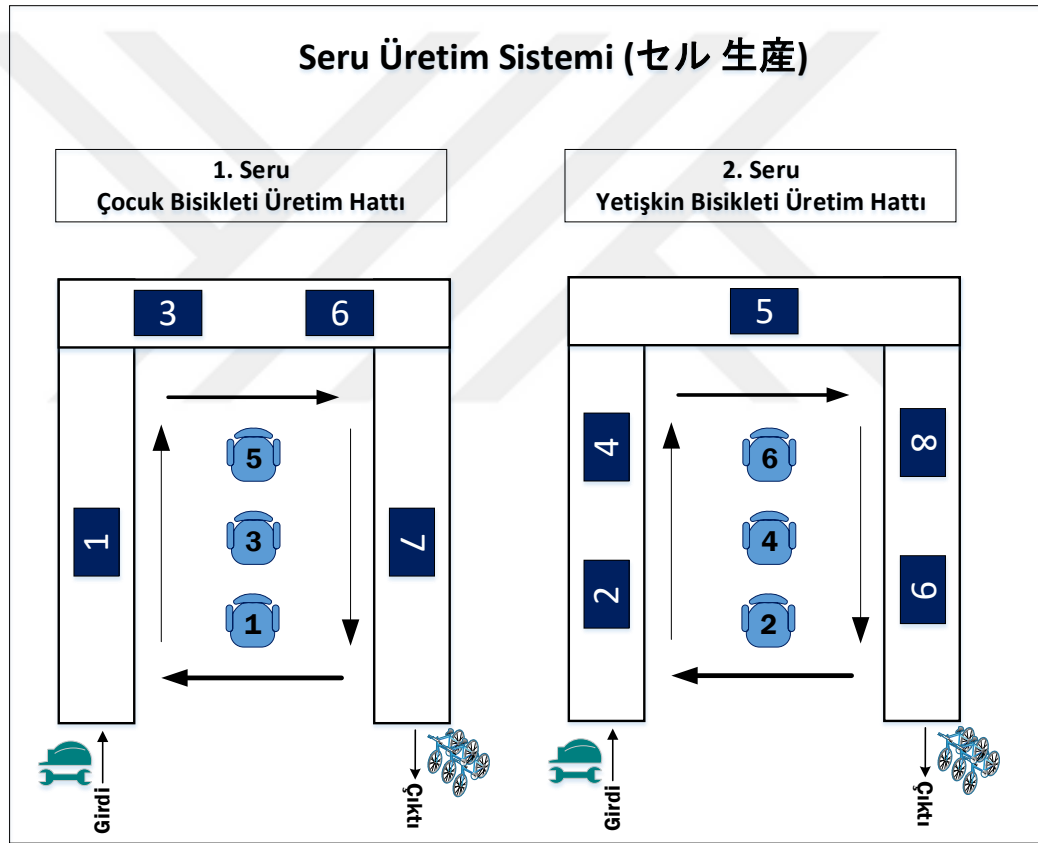
Bu kısıtlamalar, Seru üretim sisteminin dengeli ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlamak amacıyla belirlenmiştir. İşçi sayısının sınırlandırılması, üretim hatlarında tam bir bisikletin üretiminin gerçekleştirilmesine, Seru'lar arasındaki parti büyüklüğünün adil bir şekilde dağıtılmasına ve üretim süreçlerinin optimize edilmesine yardımcı olur. Bu sayede, her Seru'da görev alan işçiler arasında iş paylaşımı daha dengeli bir hale gelir, bu da genel üretim süresini minimize etmeye katkıda bulunur.

Bu kapasite sınırlaması, aynı zamanda üretim sürecindeki olası karmaşıklıkları önlemekte ve her bir Serunun kendi içinde organize bir şekilde çalışmasına olanak tanımaktadır. Özellikle U-şeklinde tasarlanan üretim hattında, 3 işçilik kapasite, işçilerin hareket alanlarını ve iş istasyonları arasındaki geçişlerini optimize etmektedir.

❖ Devamında(A_α^β) (İşçi-Seru ataması) değişkeni hesaplanmıştır. Buna dair analiz sonuçları Tablo 3.11 ve Şekil 3.7'de şu şekilde gösterilmiştir.

Tablo 3.11. Hangi İşçinin Hangi SeruyaAtandığının Gösterimi

(A_{α}^{β}) Değişkeni		
İşçi (i)	Seru 1	Seru 2
A_1	1	0
A_2	0	1
A_3	1	0
A_4	0	1
A_5	1	0
A_6	0	1



Şekil 3.7.İşçilerin Serulara Atanmasının Gösterimi

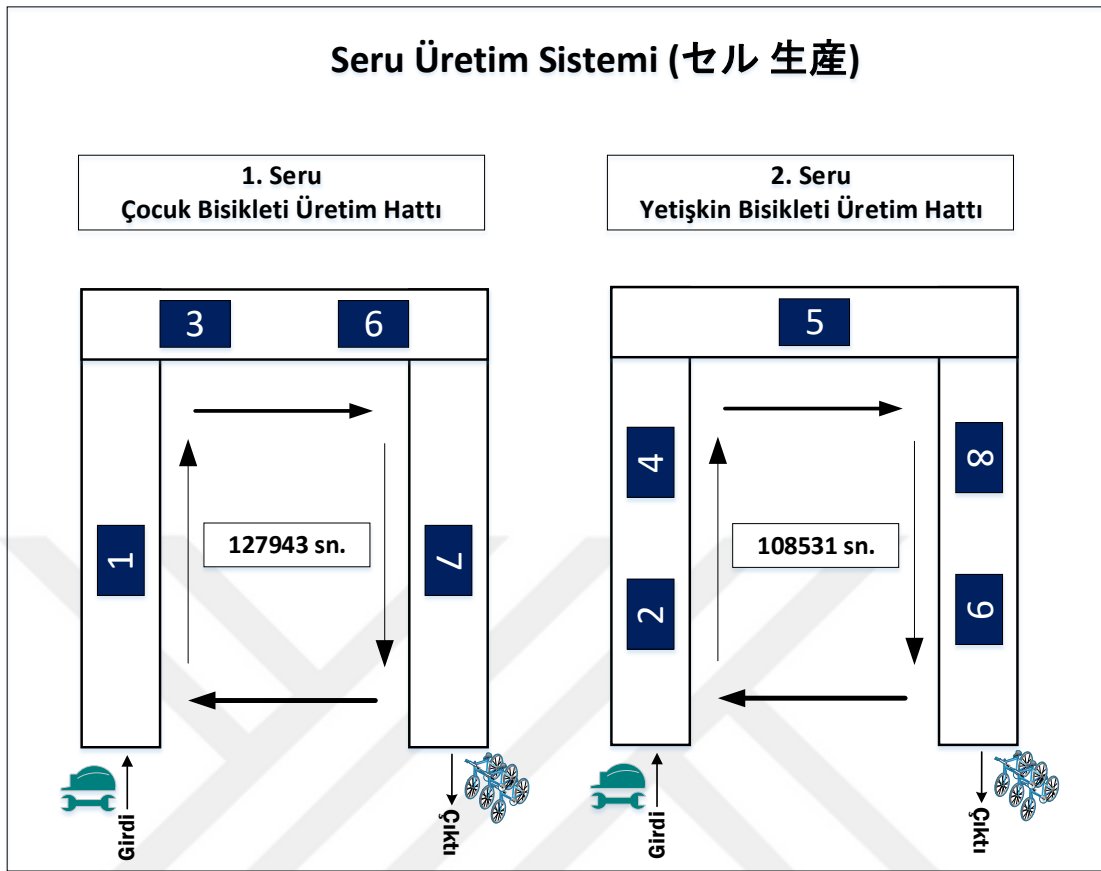
Tablo 3.11 ve Şekil 3.7’de gösterilen model sonuçları incelendiğinde, işçilerin Serulara optimal dağılımı şu şekilde gerçekleşmiştir: 1. Seru’ya 1., 3. ve 5. işçiler atanırken, 2. Seru’ya 2., 4. ve 6. işçiler atanmıştır. Bu atama, yeni rotasyonlu sistemin gereksinimleri ve her bir işçinin yetkinlikleri göz önünde bulundurularak optimize edilmiştir.

Bu dağılımın temel amacı, her bir Seru'nun kendi içinde dengeli ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlarken, aynı zamanda rotasyonlu sistemin getirdiği esneklikten maksimum düzeyde faydalanmaktır. İşçilerin Serulara atanmasında, onların teknik becerileri, deneyimleri ve özellikle rotasyonlu sistemdeki uyum kabiliyetleri dikkate alınmıştır. Bu sayede, her Seru'da görev alan işçiler, rotasyonlu üretim sisteminin gerekliliklerini en iyi şekilde karşılayacak biçimde konumlandırılmıştır.

❖ Her bir Seru'daki işlerin tamamlanma süreleri (T_{β}) hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar, Seru üretim sisteminde toplam işlem tiplerine ait parti büyüklüklerinin ne kadar sürede tamamlanacağını gösterir ve montaj sürecinin verimliliği hakkında önemli bilgiler sağlar. Bu süreler Tablo 3.12 ve Şekil 3.8'de açıklanmıştır.

Tablo 3.12.Serulardaki İşlemlerin Tamamlanma Süreleri

Değişken(T_{β})	Değer (sn.)
1. Seru (T_1)	127943.0
2. Seru (T_2)	108531.0
Toplam	236474.0



Şekil 3.8.Serulardaki Partilerin Tamamlanma Sürelerinin Gösterimi

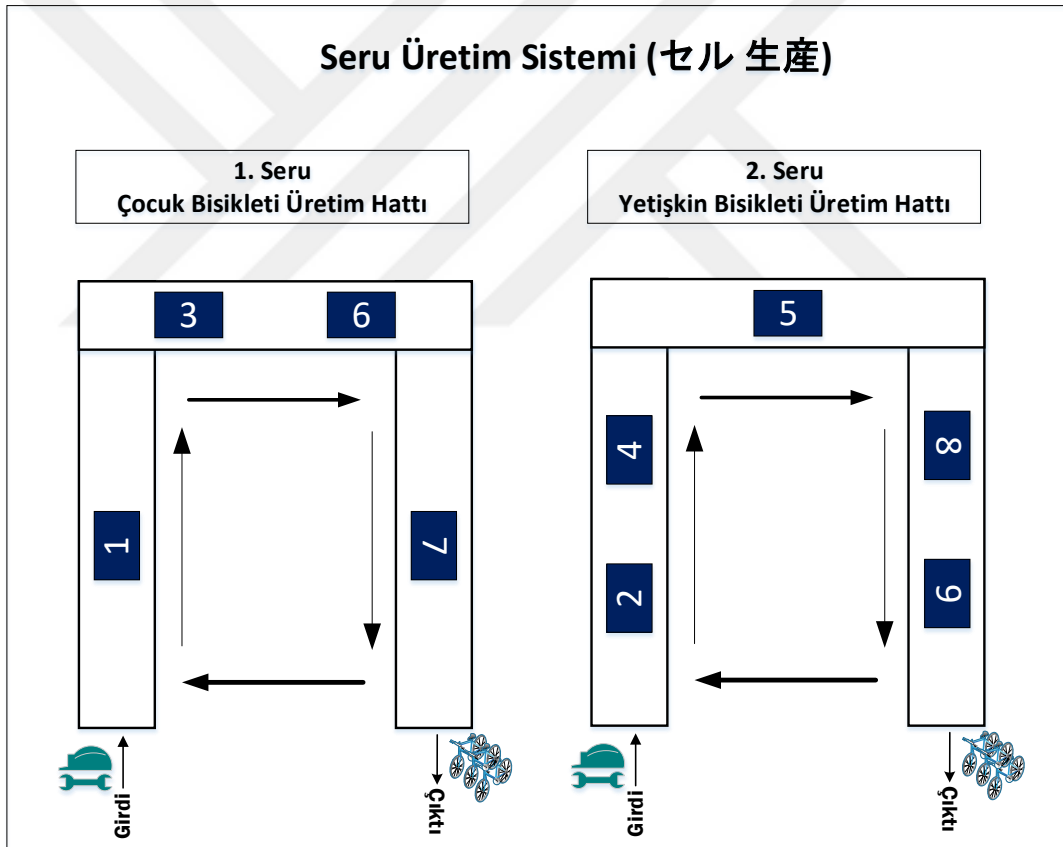
Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, 1. Seru'nun tamamlanma süresinin 127943,0 saniye, 2. Seru'nun tamamlanma süresinin ise 108531,0 saniye olduğu görülmektedir. Toplam tamamlanma süresi 236474,0 saniye olarak hesaplanmıştır. Bu sürelerin farklılık göstermesinin temel nedenleri arasında işlemlerin karmaşıklığı, hazırlık süreleri ve parti büyüklüklerinin değişkenliği yer almaktadır.

2. Seru'nun daha kısa sürede tamamlanması, bu Seru'daki işlem kombinasyonlarının ve işçi-iş eşleşmelerinin daha verimli olduğunu göstermektedir. Ayrıca, her iki Seru'nun da başlangıçtaki geleneksel üretim süresine (272747,0 saniye) kıyasla önemli ölçüde daha hızlı çalıştığı görülmektedir.

❖ Sıradaki hesaplanan değişken olan ($B_{\gamma\beta}$) her bir partinin hangi Seruda gerçekleştirildiğini göstermiştir.Tablo 3.13ve Şekil 3.9'da detaylandırılmıştır.

Tablo 3.13. $(B_{\gamma\beta})$ Karar Değişkeni Sonuç Gösterimi

$(B_{\gamma\beta})$ Değişkeni (İşlemlerin Serulara Atanması)			
İşlem Tipi(n)	1. Seru	2. Seru	Açıklama
(B_1)	1	0	1. İşlem 1. Seru'da yapılır.
(B_2)	0	1	2. İşlem 2. Seru'da yapılır.
(B_3)	1	0	3. İşlem 1. Seru'da yapılır.
(B_4)	0	1	4. İşlem 2. Seru'da yapılır.
(B_5)	0	1	5. İşlem 2. Seru'da yapılır.
(B_6)	1	0	6. İşlem 1. Seru'da yapılır.
(B_7)	1	0	7. İşlem 1. Seru'da yapılır.
(B_8)	0	1	8. İşlem 2. Seru'da yapılır.
(B_9)	0	1	9. İşlem 2. Seru'da yapılır.

Şekil 3.9. $(B_{\gamma\beta})$ Karar Değişkeni Sonuç Gösterimi

$(B_{\gamma\beta})$ Değişkeni 1 veya 0 değerini alır. Eğer $(B_{\gamma\beta}) = 1$ ise bu işlem ilgili Seru'da gerçekleştirilir; $(B_{\gamma\beta}) = 0$ ise, işlem o Seru'da gerçekleştirilmez.

Sıradaki hesaplanan değişken $(C_Y^\beta)(\gamma)$ işleminin (β) Serudaki tamamlanma sürelerinin göstermektedir. Sonuçlar Tablo 3.14 ve Şekil 3.10'da gösterilmiştir.

Tablo 3.14. (C_Y^β) Karar Değişkeni Sonuç Gösterimi

İşlem Tipi (γ)	Seru 1 (sn.)	Seru 2 (sn.)
1	28014.00	0.00
2	0.00	29880.00
3	36062.00	0.00
4	0.00	22368.00
5	0.00	32800.00
6	25388.00	0.00
7	31306.00	0.00
8	0.00	21150.00
9	0.00	28728.00

Tablo 3.14 incelendiğinde, işlemlerin Seru'lardaki toplam parti büyüklüğü tamamlanma süreleri şu şekildedir:

Tablo 3.13 incelendiğinde, işlemlerin Seru'lardaki toplam parti büyüklüğü toplam üretim tamamlanma süreleri şu şekildedir:

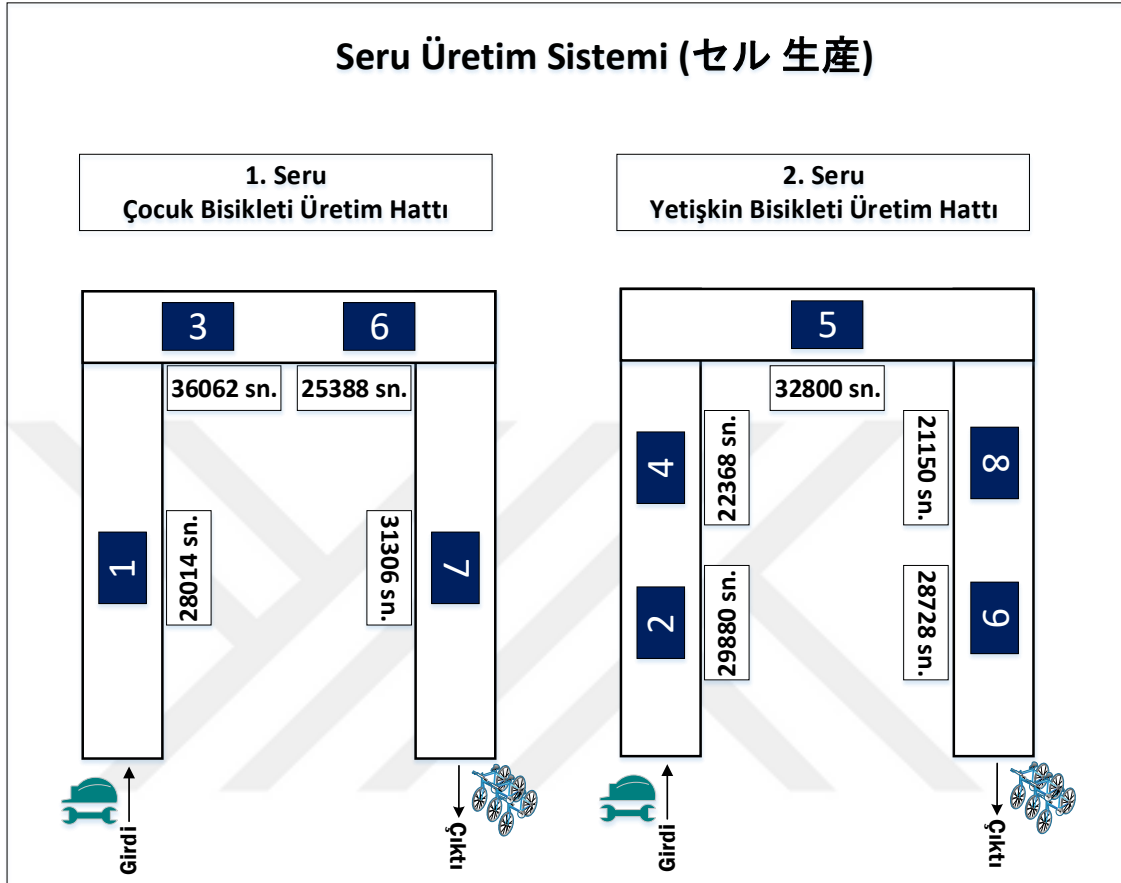
- İşlem 1:1. Seru'da 28014.00 sn.
- İşlem 2: 2. Seru'da 29880.00 sn.
- İşlem 3: 1. Seru'da 36062.00 sn.
- İşlem 4: 2. Seru'da 22368.00 sn.
- İşlem 5: 2. Seru'da 32800.00 sn.
- İşlem 6: 1. Seru'da 25388.00 sn.
- İşlem 7: 1. Seru'da 31306.00 sn.
- İşlem 8: 2. Seru'da 21150.00 sn.
- İşlem 9: 2. Seru'da 28728.00 sn.

Bu sürelerin farklılık göstermesinin temel nedenleri:

- İşlemlerin teknik karmaşıklığı ve gerektirdiği hassasiyet düzeyi.
- Her işlem için gerekli hazırlık süreleri.
- Parti büyüklüklerinin değişkenliği.
- İşçilerin rotasyonlu sistemdeki adaptasyon süreleri.
- İşlem tipine göre gerekli olan kalite kontrol gereksinimleri.

Bu sonuçlar, her bir işlemin kendine özgü karakteristiğini ve üretim sistemindeki yerini açıkça ortaya koymaktadır. Özellikle İşlem 3'e ait gidon montajı (36062.00 sn.)

ve İşlem 5'e ait fren sistemi montajının (32800.00 sn.) en uzun sürelerle sahip olması, bu işlemlerin teknik karmaşıklığını ve hassasiyetini göstermektedir.



Şekil 3.10. (C_Y^β) Karar Değişkeni Sonuç Gösterimi

Şekil 3.10'da tanımlanan işlem tipi parti büyüklükleri üretim tamamlanma sürelerinin farklılık göstermektedir. Bu süreler arasındaki farklılık, işlem karakteristiklerinin yanı sıra rotasyonlu sistemin dinamik yapısından da kaynaklanmaktadır. Örneğin, İşlem 8'e ait final kontrol (21150.00 sn.) ve İşlem 4'e ait sele montajı (22368.00 sn.) gibi işlemlerin görece daha kısa sürelerde tamamlanması, bu işlemlerin standardizasyon seviyesinin yüksek olmasından ve işçilerin bu işlemlerde daha hızlı rotasyon yapabilmesinden kaynaklanmaktadır.

Bunun ardından elde edilen bir diğer sonuç ise; $(M_Y^{\alpha\beta})$ değişkeni olarak tanımlanan yardımcı karar değişkeninin, (α) işçisinin ve (γ) işleminin (β) Seruya atanmasıdır. Bu değişken, belirli bir işçinin belirli bir işlem üzerinde çalıştığı Seruyu

belirler ve modelin parti büyüklüğü dağılımını ve işçilerin Serulara atanmasını optimize etmek için kullanılır. Bu sonuçlar Tablo 3.15 ve Şekil 3.11’de gösterilmiştir.

Tablo 3.15. $(M_y^{\alpha\beta})$ Değişkeninin Sonuç Gösterimi

$(M_y^{\alpha\beta})$ (α işçisinin ve γ işleminin β . Seruya atanması) & 1. Seru						
İşlem (γ)	1. İşçi	2. İşçi	3. İşçi	4. İşçi	5. İşçi	6. İşçi
$M(1)$	1	0	1	0	1	0
$M(3)$	1	0	1	0	1	0
$M(6)$	1	0	1	0	1	0
$M(7)$	1	0	1	0	1	0

$(M_y^{\alpha\beta})$ (α işçisinin ve γ işleminin β . Seruya atanması) & 2. Seru						
İşlem (γ)	1. İşçi	2. İşçi	3. İşçi	4. İşçi	5. İşçi	6. İşçi
$M(2)$	0	1	0	1	0	1
$M(4)$	0	1	0	1	0	1
$M(5)$	0	1	0	1	0	1
$M(8)$	0	1	0	1	0	1
$M(9)$	0	1	0	1	0	1

Tablo 3.15 incelendiğinde;

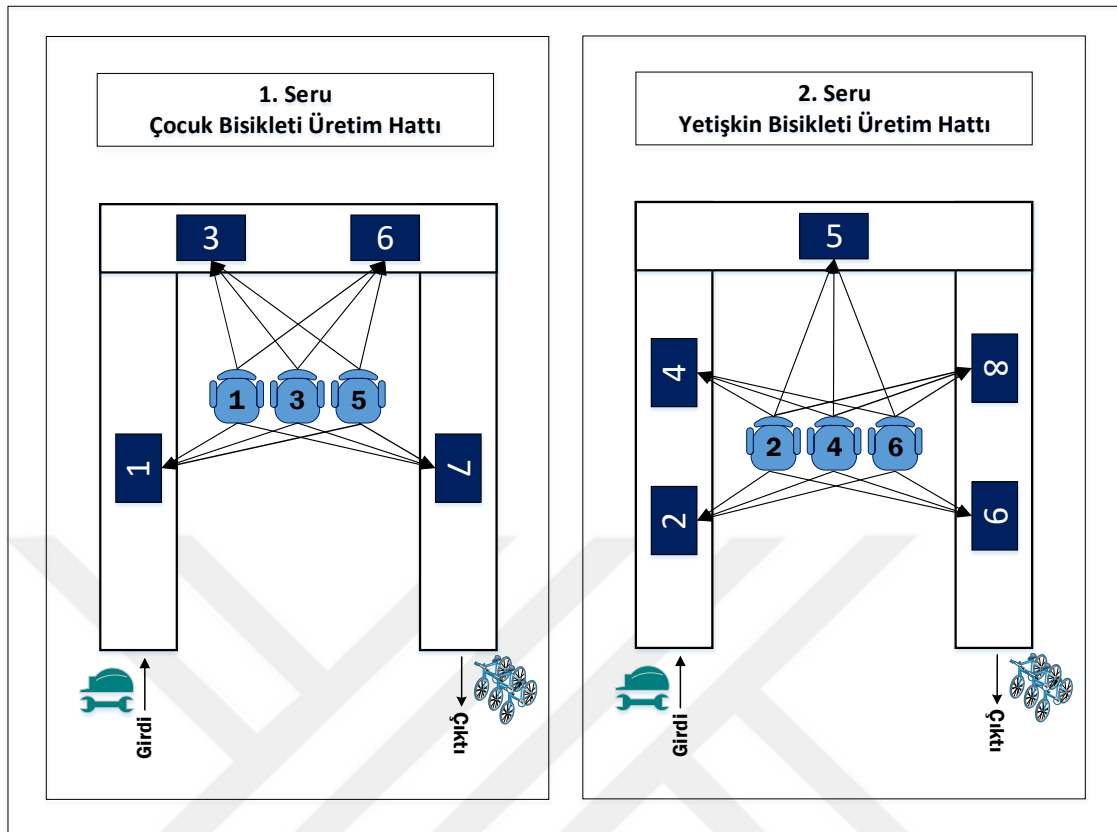
❖ **1. Seru için Atamalar:**

- 1., 3. ve 5. işçiler 1. Seru'daki tüm işlemlerde (1,3,6,7) görevlendirilmiştir
- Bu işçiler rotasyonlu olarak çalışarak Seru içindeki tüm işlemleri gerçekleştirmektedir.

❖ **2. Seru için Atamalar:**

- 2., 4. ve 6. işçiler 2. Seru'daki tüm işlemlerde (2,4,5,8,9) görevlendirilmiştir
- Bu işçiler de rotasyonlu olarak çalışarak Seru içindeki tüm işlemleri gerçekleştirmektedir.

Bu sonuçlar, rotasyonlu Seru üretim sisteminde işçilerin atandıkları Serulardaki tüm işlemlerde çalışabildiklerini göstermektedir. Her iki Seru'da da işçiler kendi Serularındaki tüm işlemlerde görev alabilmektedir, bu da sistemin rotasyonel karakterini ortaya koymaktadır. Bu durum, her Seru'nun kendi içindeki iş akışına ve işlem gereksinimlerine göre optimize edildiğini ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar Şekil 3.11’de görselleştirilmiştir.



Şekil 3.11. ($M_v^{\alpha\beta}$) Karar Değişkeninin 1. ve 2. Seru için Sonuç Gösterimi

Şekil 3.11 incelendiğinde, hangi işçinin hangi Seruda hangi işlem üzerinde çalıştığını net bir şekilde göstermektedir. Model, bu atamalarla parti büyüklük miktarlarının dağılımını optimize etmeyi ve toplam tamamlanma süresini minimize etmeyi amaçlar. İşçilerin belirli Serulara atanması, iş gücü verimliliğini artırarak Seru üretim sisteminin etkinliğini maksimize etmeyi sağlar.

❖ Sıradaki hesaplanan ($O_v^{\alpha\beta}$) değişkeni, (α) işçisinin (β) Serusunda (γ) işleminden karşıladığı parti miktarını tamsayı olarak belirleyen bir karar değişkenidir. Aynı zamanda ($O_v^{\alpha\beta}$) değişkeninin tamsayı olması durumu mevcut matematiksel modele eklenen diğer bir kısıt olarak modele eklenmiştir. Bu değişken, her bir işçinin belirli bir Seruda, belirli bir işlem tipine ait parti büyüklüğünden ne kadar gerçekleştirdiğini modellemektedir. Tablo 3.16, bu değişkenin analiz sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 3.16. ($O_{\gamma}^{\alpha\beta}$) Değişkeni için Sonuç Gösterimi

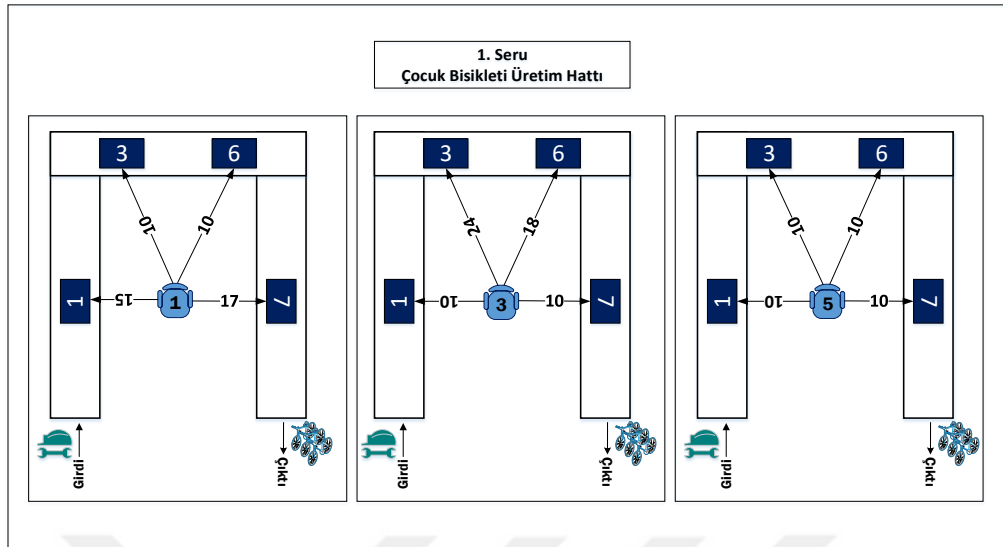
İşlem (γ)	İşçi 1	İşçi 2	İşçi 3	İşçi 4	İşçi 5	İşçi 6
1. Seru						
O_{11}	15	0	10	0	10	0
O_{31}	10	0	24	0	10	0
O_{61}	10	0	18	0	10	0
O_{71}	17	0	10	0	10	0
Toplam	52	0	62	0	40	0
2. Seru						
O_{22}	0	10	0	20	0	10
O_{42}	0	10	0	10	0	16
O_{52}	0	10	0	22	0	10
O_{82}	0	10	0	10	0	25
O_{92}	0	10	0	12	0	10
Toplam	0	50	0	74	0	71

Tablo 3.16 incelendiğinde:

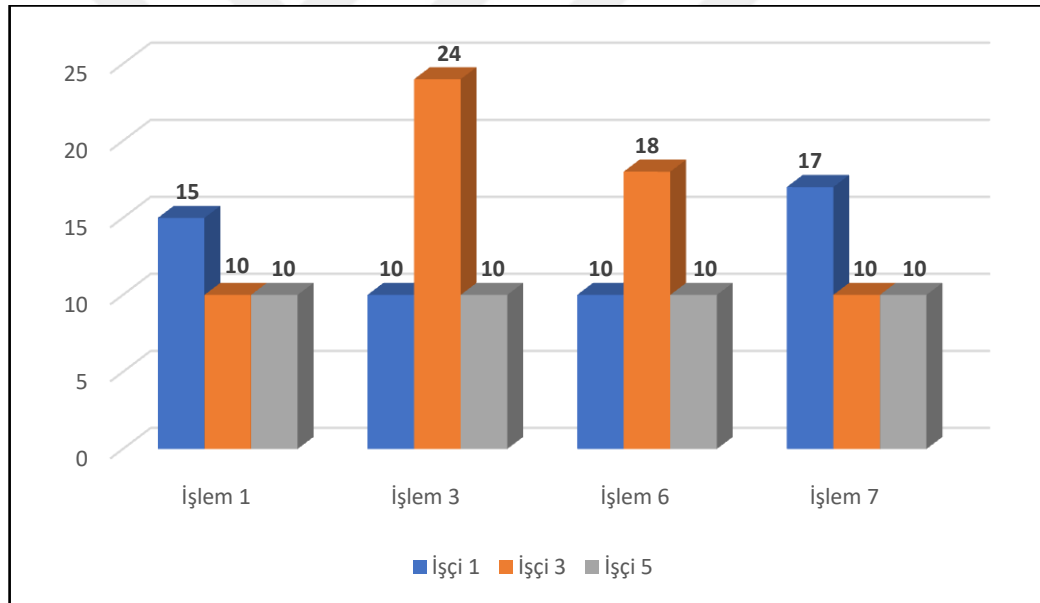
❖ 1. Seru İçin ($O_{\gamma}^{\alpha\beta}$) Değişkeni:

- 1., 3. ve 5. işçilerin toplam montaj işlemleri sırasıyla 52, 62 ve 40 birimdir.
- En yüksek parti miktarı 3. işçi tarafından karşılanmıştır (toplam 62 birim).
- 3. işçi özellikle işlem 3'de 24 birimlik yüksek parti miktarı karşılamıştır.
- 5. işçi tüm işlemlerde sabit 10'ar birimlik işlemyapmıştır.

Seru 1 için elde edilen bu sonuçlar Şekil 3.12 ve 3.13'de görselleştirilmiştir.



Şekil 3.12. $(O_Y^{\alpha\beta})$ Karar Değişkeninin 1. Seru için Sonuç Gösterimi

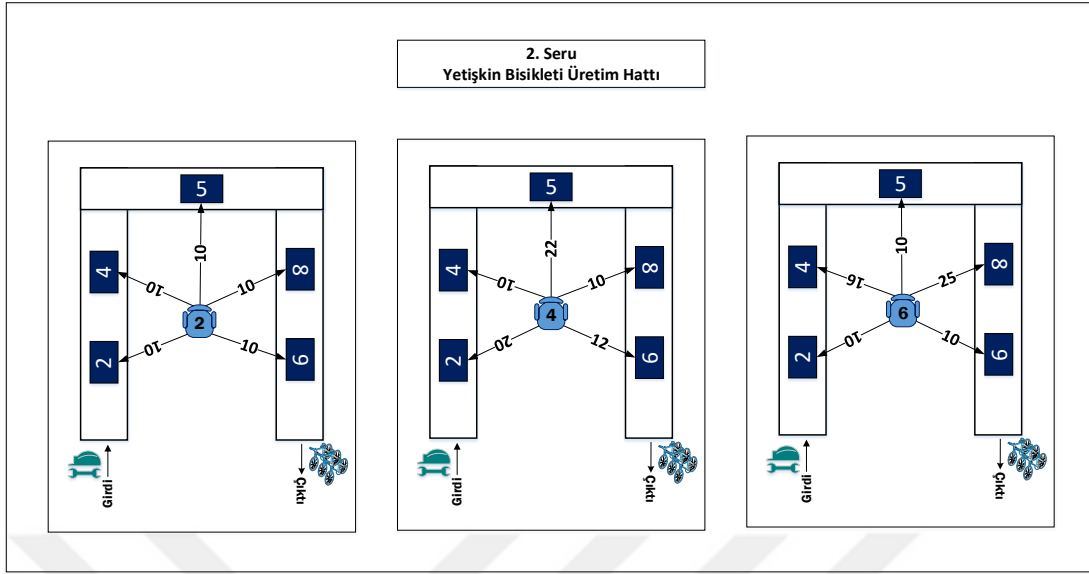


Şekil 3.13. $(O_Y^{\alpha\beta})$ Karar Değişkeninin 1. Seru için Grafik Gösterimi

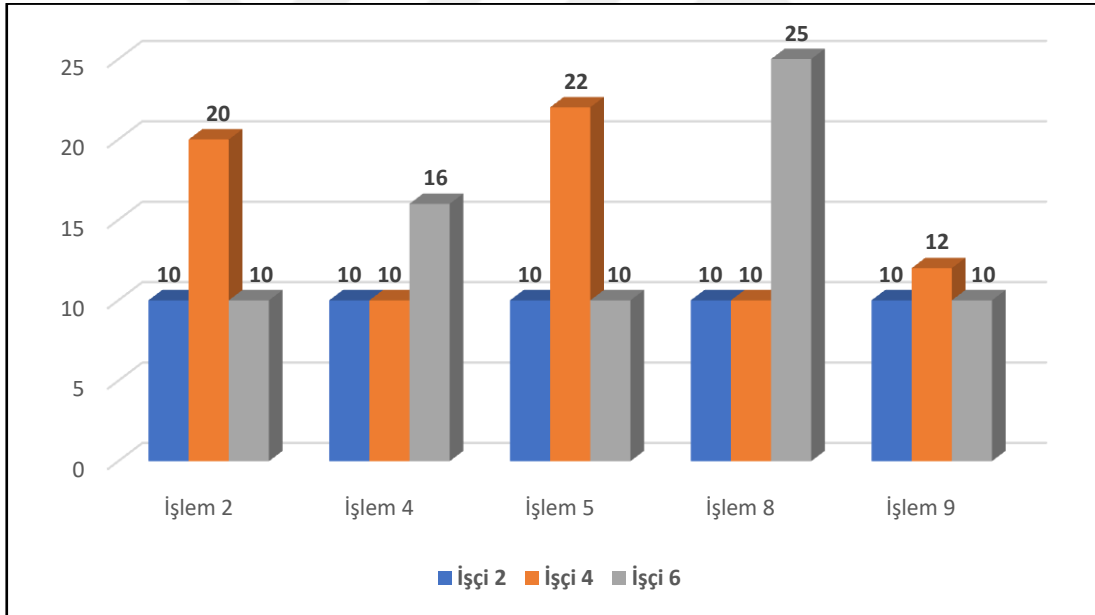
❖ 2. Seru İçin $(O_Y^{\alpha\beta})$ Değişkeni:

- 2., 4. ve 6. işçilerin toplam montaj işlemlerisıraşıyla 50, 74 ve 71 birimdir.
- En yüksek parti miktarı 4. işçi tarafından karşılanmıştır (toplam 74 birim).
- 6. işçi işlem 8'de 25 birimlik en yüksek partimiktarı karşılamıştır.
- 2. işçi tüm işlemlerde sabit 10'ar birimlik işlemyapmıştır.

Seru 2 için elde edilen bu sonuçlar Şekil 3.14 ve 3.15'de görselleştirilmiştir.



Şekil 3.14. ($O_y^{\alpha\beta}$) Karar Değişkeninin 2. Seru için Sonuç Gösterimi



Şekil 3.15. ($O_y^{\alpha\beta}$) Karar Değişkeninin 2. Seru için Grafik Gösterimi

İşçiler tarafından işlenen parti miktarlarındaki farklılıkların nedenleri detaylandırıldığında:

Bu sonuçlar, rotasyonlu Seru sisteminde işçilerin kendi Serularında farklı işlemlerde farklı parti büyüklüklerinde üretim yapabildiklerini göstermektedir. Bu esneklik, sistemin adaptif karakterini ve işçilerin çok yönlü yeteneklerini kullanabilme kapasitesini ortaya koymaktadır.

3.10. Gelişmiş Rotasyon Kısıtlarının Etkinlik Analizi

1. Ana İşlemler için Minimum Parti Büyüklük Miktarı Kısıtı Analizi (≥ 10 birim)

Tablo 3.17.Seru1 (Çocuk Bisikleti) İşçi-İşlemBazlıParti Büyüklük Miktar Dağılımı

İşçi	İşlem 1	İşlem 3	İşlem 6	İşlem 7	Değerlendirme
İşçi 1	15	10	10	17	✓ Sağlandı
İşçi 3	10	24	10	10	✓ Sağlandı
İşçi 5	10	10	10	10	✓ Sağlandı

Tablo 3.18.Seru2 (Yetişkin Bisikleti) İşçi-İşlem Bazlı Parti Büyüklük Miktar Dağılımı

İşçi	İşlem 2	İşlem 4	İşlem 5	İşlem 8	İşlem 9	Değerlendirme
İşçi 2	10	20	10	10	16	✓ Sağlandı
İşçi 4	10	10	10	25	10	✓ Sağlandı
İşçi 6	10	12	10	10	10	✓ Sağlandı

Tablo 3.17 ve 3.18’de görüldüğü üzere, tüm yetkin işçi-işlem kombinasyonlarında minimum 10 birim şartının sağlandığını göstermektedir. Seru1’de İşçi 1’in 15 (İşlem 1) ile 17 (İşlem 7) arasında, Seru 2’de ise İşçi 2’nin 10 (İşlem 2) ile 20 (İşlem 4) arasında değişen birim miktarları işlediği görülmektedir. Kısıt %100 başarı oranıyla uygulanmış olup, hiçbir atamada 10 birimin altına düşülmemiştir.

2. İşçi Bazlı Minimum Parti Miktarı Analizi

Tablo 3.19.İşçilerin Seru Bazında İşledikleri Toplam Parti Büyüklük Miktarları

İşçi	Atandığı Hat	Toplam İşlenen Parti	Ortalama Parti/İşlem	Değerlendirme
İşçi 1	Seru1	52	13.0	✓ Sağlandı
İşçi 2	Seru2	66	13.2	✓ Sağlandı
İşçi 3	Seru1	54	13.5	✓ Sağlandı
İşçi 4	Seru2	65	13.0	✓ Sağlandı
İşçi 5	Seru1	40	10.0	✓ Sağlandı
İşçi 6	Seru2	52	10.4	✓ Sağlandı

İkinci rotasyon kısıtının etkinliği Tablo 3.19’da analiz edilmiş olup, işçilerin atandıkları Serulardaki toplam parti büyüklük miktarları 40 ile 66 birim arasında değişmektedir. En yüksek toplam miktar İşçi 2’de 66, en düşük ise İşçi 5’te 40 birim olarak gerçekleşmiştir. İşçi bazlı ortalama parti büyüklük miktarları/işlem oranları 10.0

ile 13,5 arasında değişirken, tüm işçiler için minimum birim miktar şartı başarıyla karşılanmıştır.

3. Maksimum Parti Büyüklük Miktarı Sınırı Analizi (%60)

Tablo 3.20.İşlem Bazlı Maksimum Parti Büyüklük Miktarı Kontrolü

İşlem	Toplam Parti	Max Limit (%60)	En Yüksek Atama	Oran (%)	Değerlendirme
1	35	21	15	42.9	✓ Sağlandı
2	40	24	20	50.0	✓ Sağlandı
3	44	26.4	24	54.5	✓ Sağlandı
4	36	21.6	20	55.6	✓ Sağlandı
5	42	25.2	10	23.8	✓ Sağlandı
6	38	22.8	10	26.3	✓ Sağlandı
7	37	22.2	17	45.9	✓ Sağlandı
8	45	27	25	55.6	✓ Sağlandı
9	32	19.2	16	50.0	✓ Sağlandı

Üçüncü rotasyon kısıtının analizi Tablo 3.20’de detaylandırılmış olup, hiçbir işlemde %60’lık maksimum parti büyüklük miktar sınırı aşılmamıştır. En yüksek kullanım oranı %55,6 ile İşlem 4 ve İşlem 8’de görülürken, en düşük oran %23,8 ile İşlem 5’te gerçekleşmiştir. Dokuz işlemin ortalama kullanım oranı %44,9 olarak hesaplanmış olup, tüm işlemlerde maksimum parti büyüklük miktar sınırı etkin bir şekilde korunmuştur. Rotasyon kısıtlarının etkinlik analizleri özetlendiğinde:

1. Minimum Parti Miktarı Kısıtının Etkinliği:

- Tüm yetkin işçi-işlem kombinasyonlarında minimum 10 parti büyüklük miktar şartı sağlanmıştır.
- En düşük atama 10 parti büyüklük miktarı olarak gerçekleşmiştir.
- Kısıt %100 başarı oranı ile uygulanmıştır.

2. İşçi Bazlı Minimum Parti Analizi:

- En düşük toplam parti büyüklük miktarı: 40 (İşçi 5).
- En yüksek toplam parti büyüklük miktarı: 66 (İşçi 2).
- Ortalama parti büyüklük miktarı/işlem oranı: 10.0-13,5 arasında değişmektedir.
- Tüm işçiler için minimum parti büyüklük miktar şartı karşılanmıştır.

3. Maksimum Parti Büyüklük Miktar Sınırının Etkinliği:

- Hiçbir işlemde %60 limiti aşılmamıştır.

- En yüksek kullanım oranı: %55,6 (İşlem 4 ve 8).
- En düşük kullanım oranı: %23,8 (İşlem 5).
- Ortalama kullanım oranı: %44,9.

Yapılan analiz sonuçları, geliştirilen üç rotasyon kısıtının da modelde etkin bir şekilde çalıştığını göstermektedir. Kısıtlar hem minimum gereksinimlerin karşılanmasını hem de maksimum sınırların aşılmasını başarıyla sağlamıştır.

3.11.Seru Üretim Sisteminde İşçi Sıralaması ve Çalışma Prensipleri Analizi

Son olarak, Dönen Seru üretim sisteminin etkinliğini ve verimliliğini doğrudan etkileyen işçi faktörü, her bir işçinin yetenekleri, performans seviyeleri ve iş yükleri açısından incelenmektedir. İşçilerin lider, uzman ve destek rolleri ile bu rollere göre belirlenen iş dağılımları, parti büyüklükleri ve toplam üretim kapasiteleri sistematik bir yaklaşımla ele alınmaktadır. Bu analiz, Seru üretim sisteminin temel yapı taşlarından biri olan insan kaynağının optimum kullanımını ve iş akışının dengeli bir şekilde sürdürülmesini amaçlamaktadır.

İşçi Karakteristikleri ve Başlangıç Sıralaması

❖ Seru 1 (Çocuk Bisikleti Üretimi):

➤ *Lider İşçi (İşçi 3):*

- ✓ En yüksek performans profili.
- ✓ İşlem 1'de parti büyüklüğünden 10 birim.
- ✓ İşlem 3'te parti büyüklüğünden 24 birim.
- ✓ İşlem 6'da parti büyüklüğünden 18 birim.
- ✓ İşlem 7'de parti büyüklüğünden 10 birim.
- ✓ Toplam 62 birimlik en yüksek parti miktarını tamamlama.

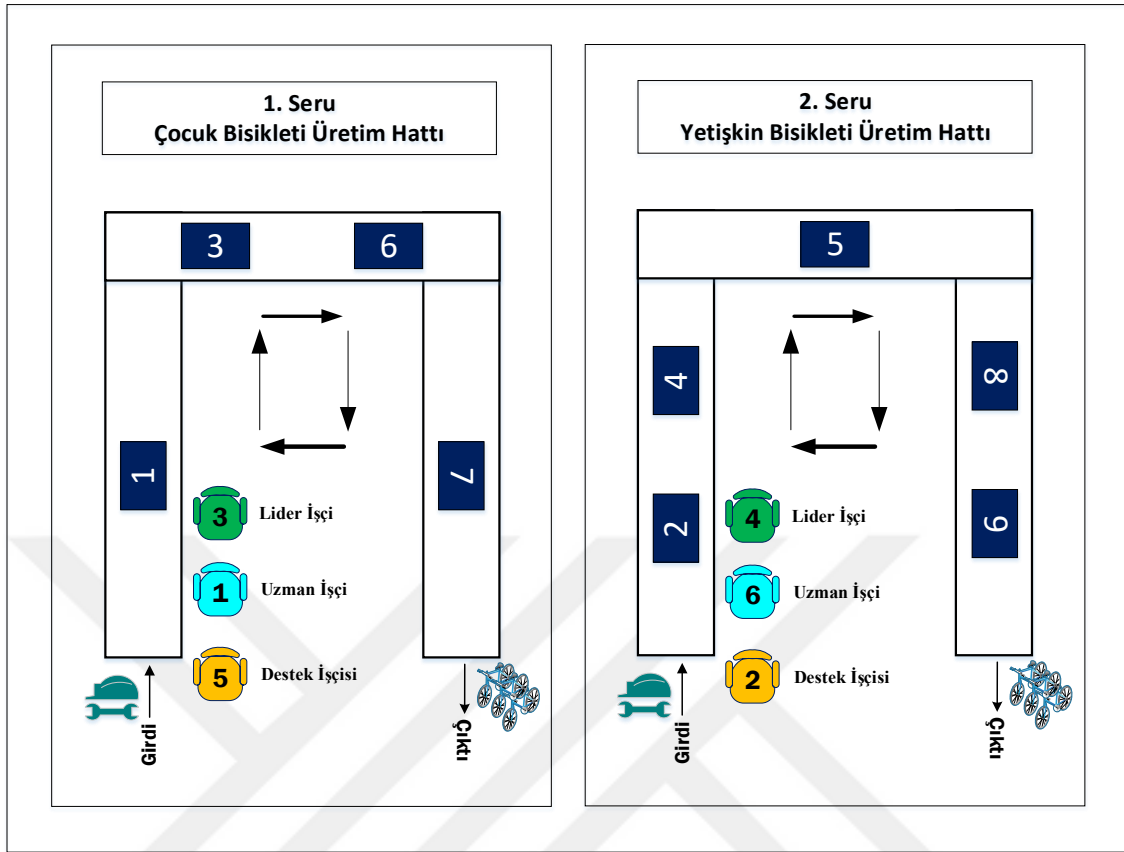
➤ *Uzman İşçi (İşçi 1):*

- ✓ Yüksek yetkinlik seviyesi.
- ✓ İşlem 1'de parti büyüklüğünden 15 birim.
- ✓ İşlem 3'te parti büyüklüğünden 10 birim.
- ✓ İşlem 6'da parti büyüklüğünden 10 birim.
- ✓ İşlem 7'de parti büyüklüğünden 17 birim.
- ✓ Toplam 52 birimlik parti miktarını tamamlama.

➤ *Destek İşçisi (İşçi 5):*

- ✓ İstikrarlı performans profili.
- ✓ Her işlemde (1,3,6,7) parti büyüklüğünden 10'ar birim.
- ✓ Toplam 40 birimlik parti miktarını tamamlama.
- ✓ Sistem ritmini dengeleyen destek rolü.
- ❖ **Seru 2 (Yetişkin Bisikleti Üretimi):**
- **Lider İşçi (İşçi 4):**
- ✓ En yüksek performans profili.
- ✓ İşlem 2'de parti büyüklüğünden 20 birim.
- ✓ İşlem 4'te parti büyüklüğünden 10 birim.
- ✓ İşlem 5'te parti büyüklüğünden 22 birim.
- ✓ İşlem 8'de parti büyüklüğünden 10 birim.
- ✓ İşlem 9'da parti büyüklüğünden 12 birim.
- ✓ Toplam 74 birimlik en yüksek parti miktarını tamamlama.
- **Uzman (İşçi 6):**
- ✓ Yüksek yetkinlik seviyesi.
- ✓ İşlem 2'de parti büyüklüğünden 10 birim.
- ✓ İşlem 4'te parti büyüklüğünden 16 birim.
- ✓ İşlem 5'te parti büyüklüğünden 10 birim.
- ✓ İşlem 8'de parti büyüklüğünden 25 birim.
- ✓ İşlem 9'da parti büyüklüğünden 10 birim.
- ✓ Toplam 71 birimlik parti miktarını tamamlama.
- **Destek İşçisi (İşçi 2):**
- ✓ İstikrarlı performans profili.
- ✓ Her işlemde (2,4,5,8,9) parti büyüklüğünden 10'ar birim.
- ✓ Toplam 50 birimlik parti miktarını tamamlama.
- ✓ Sistem ritmini dengeleyen destek rolü.

Şekil 3.16'da, Seru 1'de çocuk bisikleti montajı Seru 2'de de yetişkin bisikleti montajı için görevlendirilen işçilerin karakteristikleri ve başlangıç işlemler sıralaması görselleştirilmiştir.



Şekil 3.16. Seru 1 ve 2'deki İşçilerin Karakteristikleri ve Başlangıç Üretim Sıralaması

❖ Rotasyonel Mekanizmanın Teorik Çerçevesi

❖ Senkronizasyon ve Koordinasyon Mekanizması

Seru üretim sisteminde, operasyonel etkinliğin temelini işçiler arası koordinasyon oluşturmaktadır. Liu vd. (2021)'nin çalışmasına göre, bu sistemde sürekli iletişim ve koordinasyon, üretim verimliliğini %15-25 oranında artırmaktadır. Sistemin temel bileşenleri şu şekilde tanımlanmıştır:

1. Operasyonel Senkronizasyon

- İşçiler arası sürekli bilgi akışı.
- Gerçek zamanlı performans monitörizasyonu.
- Adaptif üretim hızı kontrolü.

2. Destek Sistemi Entegrasyonu

- Performans sapması durumunda anlık müdahale mekanizması.
- Çoklu beceri eğitim destekli yetkinlik paylaşımı.
- Dinamik iş gücü planlaması.

3. Verimlilik Optimizasyonu Parametreleri;

İşçi bazlı verimlilik optimizasyonu, aşağıdaki kritik parametreler çerçevesinde gerçekleştirilmektedir:

➤ Yetkinlik Bazlı İş Dağılımı

- İşçi yetkinlik matrisine dayalı görev ataması.
- Optimal parti büyüklüğü hesaplaması.
- Hazırlık sürelerinin minimizasyonu.

➤ Darboğaz Yönetim Protokolü

- Kritik operasyonlarda özelleştirilmiş stratejiler.
- Yüksek yetkinlikli işçi konumlandırması.
- Esnek destek mekanizması implementasyonu.

4. Kalite Kontrol Entegrasyonu

Sistemin kalite güvence mekanizması, çok katmanlı bir kontrol yapısı üzerine inşa edilmiştir:

➤ Süreç İçi Kontrol

- Her operasyon noktasında standartlaştırılmış kalite kontrolleri.
- İstatistiksel proses kontrol uygulamaları.
- Anlık hata tespit ve müdahale sistemi.

➤ Final Kalite Güvencesi

- Kapsamlı son kontrol protokolü.
- Dokümantasyon ve izlenebilirlik.

- Geri bildirim bazlı süreç iyileştirme.

5. Sistem Performans Metrikleri

Seru üretim sisteminin performans değerlendirmesi aşağıdaki kritik göstergeler üzerinden yapılmaktadır:

➤ Operasyonel Metrikler

- Toplam çevrim süresi optimizasyonu.
- İşçi verimliliği maksimizasyonu.
- Darboğaz minimizasyonu.

➤ Kalite Metrikleri

- Hata oranı minimizasyonu.
- İlk seferde doğru üretim oranı.
- Müşteri memnuniyet indeksi.

Dönen Seru üretim sisteminde, U-şeklinde tasarlanan üretim Serularında çok vasıflı işçiler esnek bir çalışma düzeni içerisinde görev almaktadır. Bu sistemde işçiler tüm montaj operasyonlarını gerçekleştirebilme yetkinliğine sahip olmakla birlikte, performans ve verimlilik optimizasyonu için belirli işlemlerde uzmanlaşmaya yönlendirilmektedir. Örneğin, analiz edilen verilerde Lider İşçi'nin fren-vites montajında (16 adet), Uzman İşçi'nin tekerlek montajında (15 adet) ve Destek İşçisi'nin final montajda (16 adet) daha yüksek performans gösterdiği tespit edilmiştir. Bu esnek ve dinamik yapı sayesinde, işçiler ana uzmanlık alanlarında yoğunlaşırken, ihtiyaç durumunda diğer istasyonlarda da görev alabilmekte, böylece üretim sürecinin sürekliliği ve verimliliği optimize edilmektedir. Bu sistem, geleneksel montaj hattı üretimine kıyasla %31.60 oranında verimlilik artışı sağlamıştır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzün hızla değişen ve giderek daha rekabetçi hale gelen küresel iş ortamlarında, üretim sistemlerinin esneklik, verimlilik ve hızlı yanıt verme yetenekleri hayati önem taşımaktadır. Şirketler, müşteri taleplerine en kısa sürede ve en yüksek kalitede yanıt verebilmek için üretim süreçlerini sürekli olarak optimize etmek zorundadır. Bu bağlamda, geleneksel üretim sistemleri, sabit iş süreçleri ve sınırlı esneklikleri nedeniyle giderek daha yetersiz hale gelmektedir. Müşteri taleplerindeki çeşitlilik ve belirsizlikler, üretim süreçlerinin daha esnek ve uyarlanabilir yapılarla yönetilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu noktada, üretim süreçlerine yenilikçi yaklaşımlar getiren Seru üretim sistemleri, geleneksel üretim yöntemlerine kıyasla daha esnek, verimli ve müşteri odaklı çözümler sunmaktadır. Seru sistemleri, toplam tamamlanma süresini minimize etmek, işçi performansını artırmak ve müşteri taleplerine daha hızlı yanıt vermek gibi avantajlarıyla modern üretim gereksinimlerine etkili bir yanıt olarak öne çıkmaktadır.

Bu çalışmanın odaklandığı problem, geleneksel üretim montaj hatlarının esneklikten yoksun yapısının, değişken müşteri taleplerine uyum sağlamakta zorlanması ve bu durumun toplam tamamlanma süresinin artmasına neden olmasıdır. Dolayısıyla, çalışmanın amacı, geleneksel üretim sistemini Dönen Seru üretim sistemine dönüştürerek, toplam tamamlanma süresini minimize etmek ve işçi verimliliğini artırmaktır. Bu bağlamda, iki Serulu bir model ile geleneksel üretim sistemi karşılaştırılarak, Seru modelinin sağladığı iyileştirmeler ortaya konulmuştur. Çalışmanın önemi ise, Türkiye'de Seru üretim sisteminin uygulanabilirliğini inceleyerek, yerel literatüre katkı sağlaması ve üretim süreçlerinde zaman ve maliyet tasarrufu sağlayacak aynı zamanda üretim verimliliğini artıracak yöntemler sunmasıdır.

Bu tez çalışmasında, geleneksel üretim sistemleri ile Seru üretim sistemi arasındaki farkların belirlenmesi ve Seru sisteminin avantajlarının ortaya konulması amacıyla bir bisiklet üreticisi üzerinde kapsamlı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, üretim süreçlerinde geçen toplam sürenin minimize edilmesi hedeflenmiş ve Dönen Seru modeli ile geleneksel üretim hattı modeli karşılaştırılmıştır. Yapılan

analizin sonuçları, Seru üretim sisteminin esneklik ve verimlilik gibi önemli üretim yetkinlikleri sağladığını ortaya koymaktadır.

❖ *Önerilen Matematiksel Model*

Bu çalışmada kullanılan matematiksel model, Liu vd. (2012) tarafından geliştirilen modelden yararlanan Çalışkan vd. (2021) tarafından ortaya konulan model temel alınarak oluşturulmuş ve sunulmuştur. Mevcut modele ek olarak, işçi yetkinlik katsayıları, çocuk ve yetişkin bisikletlerin üretiminde yapılan işlerin belirli Serulara atanmasını sağlayacak ek kısıtlar ve işçilerin rotasyonlu çalışmasını optimize eden gelişmiş rotasyon kısıtları eklenmiştir. Bu kısıtlar, işçilerin yetkinliklerine göre işlemlere atanması, her işçinin görev aldığı Seru'daki tüm işlemlerde belirli bir minimum parti büyüklük miktarını karşılamasının sağlanması ve üretim sürecinin daha verimli hale getirilmesi amacıyla modelde yer almıştır. İşçi yetkinlik katsayıları ve rotasyonel kısıtların birlikte kullanımı, işçilerin becerilerine uygun işlemlerde çalışırken aynı zamanda Seru içinde esnek bir rotasyon yapabilmelerini sağlamıştır. Ortaya çıkan bu model, toplam tamamlanma süresini minimize etmek amacıyla uygulanmış ve geleneksel montaj hattı üretim sistemi ile karşılaştırıldığında, Dönen Seru modelinin sağladığı avantajlar detaylı bir şekilde analiz edilmiştir.

❖ *Üretim Süreleri ve Verimlilik*

Yapılan analizler sonucunda, Seru modelinin üretim süreçlerinde geçen toplam süreyi önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir. 2 Serulu Seru modeli ile yapılan hesaplamalarda, toplam tamamlanma süresi; 127943.0 saniye olarak belirlenmiştir. Bu süre, geleneksel montaj hattı modelinde ölçülen 187038.7saniyelik süreyle karşılaştırıldığında, Seru modelinin üretim süresini yaklaşık %31.60 oranında kısalttığını göstermektedir.

Bu sonuç, Seru modelinin üretim sürecinde önemli bir verimlilik artışı sağladığını ve üretim sürelerini minimize etme konusunda etkili bir çözüm sunduğunu göstermektedir. Seru 1'de toplam üretim süresi 127943.0 sn. olarak hesaplanmıştır. Bu süre, Seru 1'de gerçekleştirilen işlerin tamamlanma süresini ifade etmektedir. Seru 2'de ise toplam üretim süresi 108531.0 sn. olarak belirlenmiştir.

❖ *İşçi Atamaları ve Performans*

Kullanılan matematiksel model, işçilerin Serulara atanmasını optimize etmeyi hedeflemiştir. Elde edilen sonuçlara göre, 2 Serulu modelde işçilerin yetkinliklerine ve işlerin gerekliliklerine uygun bir şekilde atanması sağlanmıştır. Bu atama süreci, her bir işçinin kendi uzmanlık alanında maksimum verimlilikle çalışmasını mümkün kılmıştır.

Analizler sonucunda 1., 3. ve 5. işçiler 1. Seru'ya; 2., 4. ve 6. işçiler ise 2. Seru'ya atanmıştır. Her Seru'da Lider, Uzman ve Destek İşçisi olmak üzere üç farklı rol tanımlanmıştır. 1. Seru'da toplam 62 birimlik üretimle 3. işçi Lider İşçi rolünü üstlenirken, özellikle tekerlek montajında (24 birim) gösterdiği yüksek performansla öne çıkmıştır. 1. işçi, 52 birimlik toplam üretimiyle Uzman İşçi olarak görev yapmış ve özellikle final montajında (17 birim) yüksek performans sergilemiştir. 5. işçi ise Destek İşçisi olarak tüm işlemlerde 10'ar birimlik istikrarlı bir üretim gerçekleştirerek toplam 40 birimlik katkı sağlamıştır.

2. Seru'da ise 4. işçi, toplam 74 birimlik en yüksek üretimle Lider İşçi rolünü üstlenmiş ve özellikle fren sistemi montajında (22 birim) üstün performans göstermiştir. 6. işçi, 71 birimlik toplam üretimiyle Uzman İşçi olarak görev yapmış ve kalite kontrol sürecinde (25 birim) dikkat çekici bir performans sergilemiştir. 2. işçi ise Destek İşçisi olarak tüm işlemlerde sabit 10'ar birimlik üretim gerçekleştirerek toplam 50 birimlik katkı sağlamıştır.

Bu dağılım ve rol tanımlamaları, işçilerin belirli Serularda uzmanlaşmalarını sağlarken, aynı zamanda rotasyonlu çalışma prensibiyle farklı işlemlerde de verimli olmalarını mümkün kılmıştır. Lider İşçiler sistem temposunu belirlerken, Uzman İşçiler spesifik işlemlerde yüksek performans göstermiş, Destek İşçileri ise istikrarlı üretimleriyle sistem dengesinin korunmasına katkıda bulunmuştur.

❖ *Ürün Tiplerinin Serulara Dağılımı*

Seru modelinde, çocuk ve yetişkin bisiklet üretimine ait işlemler, geleneksel modelde olduğu gibi, ait oldukları Serularda üretilmeye devam etmiştir. Bu, üretim sürecinin verimliliğini doğrudan etkileyen bir faktör olmuştur. Analiz sonuçlarına göre, çocuk bisikletlerine ait işlemler olan 1., 3., 6. ve 7. işlemler 1. Seru'ya, yetişkin bisikletlerine ait işlemler olan 2., 4., 5., 8. ve 9. işlemler ise 2. Seru'ya atanmıştır. Bu dağılım, modele eklenen kısıtın bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır.

❖ *İşçi Yetkinlik Katsayıları ve Üretim Performansı*

Çalışmada, işçi yetkinlik katsayıları (K_Y^α) önemli bir parametre olarak ele alınmıştır. Bu parametre ele alınan modele eklenen ilk önemli kısıt olmuştur. İşçilerin belirli işlerdeki yetkinlik düzeyleri, modelin optimize edilmesinde ve üretim süreçlerinin verimliliğinin artırılmasında kritik bir rol oynamıştır. İşçi yetkinlik katsayıları, işçilerin belirli işlerde ne kadar verimli çalışabileceklerini belirleyen bir ölçüt olarak kullanılmıştır. Bu katsayılar, işçilerin geçmiş performans verileri, eğitim düzeyleri ve uzmanlık alanlarına göre belirlenmiş ve Seru modeline entegre edilmiştir. Bu sayede, işçi atamalarının doğruluğu artırılmış ve üretim sürecinin optimize edilmesi sağlanmıştır.

❖ *Seru ve Geleneksel Üretim Sistemlerinin Karşılaştırılması*

Bu çalışma, Seru üretim sisteminin geleneksel üretim sistemlerine kıyasla sunduğu avantajları net bir şekilde ortaya koymuştur. Geleneksel montaj hattı, belirli bir düzende işlerin gerçekleştirilmesini ve işçilerin sabit işlere atanmasını gerektirirken, Seru sistemi daha esnek bir yapı sunarak işçilerin çok vasıflı eğitimle farklı işlerde çalışabilmesine olanak tanımaktadır. Bu esneklik, Seru modelinin üretim sürecinde hem zaman hem de maliyet açısından önemli kazanımlar elde etmesine olanak sağlamıştır.

2 Serulu Dönen Seru modelinin analizi, bu üretim sisteminin geleneksel montaj hattına kıyasla üstün bir performans sergilediğini göstermiştir. Üretim sürelerinin %31.60 oranında azaltılması, işçi verimliliğinin artırılması ve üretim süreçlerinin optimize edilmesi, Seru modelinin rekabetçi bir üretim sistemi olarak potansiyelini ortaya koymaktadır.

❖ *Geleceğe Yönelik Araştırma Önerileri*

Bu araştırmanın sonuçları, Seru üretim sistemlerinin daha geniş kapsamda incelenmesi ve farklı sektörlerde uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalar, Seru modelinin farklı üretim koşullarında ve dinamik piyasa ortamlarında nasıl performans göstereceğini inceleyebilir. Ayrıca, işçi eğitim seviyeleri, öğrenme etkileri ve ekipman hazırlık süreleri gibi faktörlerin Seru sistemine entegrasyonu üzerine çalışmalar yapılabilir.

Bunun yanı sıra, sezgisel algoritmaların ve öğrenme temelli modellerin kullanımıyla, Seru sisteminin optimizasyonu üzerine daha ileri düzey araştırmalar gerçekleştirilebilir.

Kaynaklar

- Abdullah, M. (2018). Impact of Skill: Seru Vs Classical Assembly Line [Doktora tezi]. Ohio Üniversitesi.
- Aboelfotoh, A., ve Abdullah, G. A. S. M. (2018). Selection of assembly systems: Assembly lines vs. seru systems. *Procedia Computer Science*, 140, 351-358.
- Adnan, A. N. B. (2013). Implementation of Just in Time Production Through Kanban System. *Industrial Engineering Letters*, 3(6), 11-20.
- Adnan, N., Jaffar, A., Yusoff, N. B., ve Halim, N. H. A. (2013). Innovations in kanban for process improvement. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 24(2), 218-237.
- Afshar-Nadjafi, B. (2021). Multi-Skilling in Scheduling Problems: A Review on Models, Methods and Applications. *Computers & Industrial Engineering*, 151, 107004.
- Akdoğan, A. (2020). *Mass Production Processes*. Industrial Press.
- Akhtar, M. S., ve Abdullah, S. N. A. (2014). Mass production techniques of arbuscular mycorrhizal fungi: Major advantages and disadvantages. *Bioscience Biotechnology Research Asia*, 11(3), 1199-1208.
- Akino, S. (1997). Internationalization of Japanese Enterprises and Change of Production System. *Rikkyo Economic Review*, 51(1), 29-55.
- Aktepe, A., Pınarbaşı, M. ve Yüzükırmızıoğlu, M. (2009). Bilgisayar bütünleşik imalat (CIM) parametrelerinin OC (Operating Characteristic) eğrisine etkileri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24(1), 51-58.
- Alahmadi, D. H. ve Jamjoom, A. A. (2022). Decision support system for handling control decisions and decision-maker related to supply chain. *Journal of Big Data*, 9(1), 114.
- Alrae, R. (2024). *Quality tools, technologies, and techniques: Enhancing product and service excellence*. CRC Press.
- Asao, U., Saruta, M., Nohara, H. ve Fujita, E. (2014). From conveyor line production system to seru production system: The case of company N. *Journal of Aichi Toho University*, 43(1), 71-105.
- Ayough, A., Hosseinzadeh, M. ve Motameni, A. (2020). Job rotation scheduling in the seru system: Shake enforced invasive weed optimization approach. *Assembly Automation*, 40(3), 461-474.

- Bajjou, M. S., Chafi, A. ve En-Nadi, A. (2017). A comparative study between lean construction and the traditional production system. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 29, 118-132.
- Beber, J. (2019). Seru production system: Assembly cells implementation in a home appliance factory. *Journal of Lean Systems*, 4(3), 23-43.
- Black, J. T. ve Hunter, S. L. (2003). *Lean manufacturing and cell design*. Society of Manufacturing Engineers.
- Bonney, M. (2000). Reflections on production planning and control (PPC). *Gestão e Produção*, 7(3), 181-207.
- Bortolini, M. (2023). Analytic model to predict productivity in divisional seru production environment. *Computers & Industrial Engineering*, 177, 109058.
- Bortolini, M. ve Galizia, F. G. (2022). Balancing workers in divisional serus. *Towards sustainable customization: Bridging smart products and manufacturing systems* (ss. 584-591). Springer.
- Burcham, C. L., Florence, A. J. ve Johnson, M. D. (2018). Continuous manufacturing in pharmaceutical process development and manufacturing. *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, 9(1), 253-281.
- Buzacott, J. A. ve Yao, D. D. (1986). Flexible manufacturing systems: A review of analytical models. *Management Science*, 32(7), 890-905.
- Byrn, S., Futran, M., Thomas, H., Jayjock, E., Maron, N., Meyer, R. F., ... ve Trout, B. L. (2015). Achieving continuous manufacturing for final dosage formation: Challenges and how to meet them. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 104(3), 792-802.
- Carr, S. ve Duenyas, I. (2000). Optimal admission control and sequencing in a make-to-stock/make-to-order production system. *Operations research*, 48(5), 709-720.
- Chacón, E., Cruz Salazar, L. A., Cardillo, J. ve Paredes Astudillo, Y. A. (2021). A control architecture for continuous production processes based on industry 4.0: Water supply systems application. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 32(7), 2061-2081.
- Chen, S., Wu, Y. ve Zeng, S. (2022). Joint assignment of multi-skilled worker and task considering lot-splitting in seru production systems. İçinde *International Conference on Advanced Manufacturing Technology and Manufacturing Systems* (ss. 89-95). SPIE.
- Chiarini, A., Baccarani, C. ve Mascherpa, V. (2018). Lean production, Toyota production system and Kaizen philosophy: A conceptual analysis from the perspective of Zen Buddhism. *The TQM Journal*, 30(4), 425-438.

- Cooney, R. (2002). Is “lean” a universal production system? Batch production in the automotive industry. *International Journal of Operations & Production Management*, 22(10), 1130-1147.
- Cruz Villazón, C., Sastoque Pinilla, L., Otegi Olaso, J. R., Toledo Gandarias, N. ve López de Lacalle, N. (2020). Identification of key performance indicators in project-based organisations through the lean approach. *Sustainability*, 12(15), 5977.
- Çalışkan, E., İşleyen, S. ve Çerçioğlu, H. (2021). Seru üretim sistemlerinde yükleme problemi için karışık tamsayılı bir matematiksel model ve mat-sezgisel çözüm yaklaşımı. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36(2), 793-806.
- Çiftçi, H. Ö. (2020). Sipariş tipi üretim sistemlerinde üretim planlama ve bir işletmede örnek uygulama [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Üniversitesi.
- Damola, P. (2024). Optimization of workforce allocation in multi-period seru production systems for enhanced flexibility and efficiency. *International Journal of Production Research*, 62(2), 711-728.
- Das, S. R. ve Khumawala, B. M. (1986). Group technology and cellular manufacturing: An overview. *Journal of Information and Optimization Sciences*, 7(2), 197-207.
- Deb, G. K., Nahar, T. N., Duran, P. G. ve Presicce, G. A. (2016). Safe and sustainable traditional production: the water buffalo in Asia. *Frontiers in Environmental Science*, 4, 38.
- Deepthi, T.V., Ramakotaiah, K. ve Krishnaveni, K. (2019). Research on performance of multi-skilled workers for sustainable production planning in seru production systems. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(10), 1-13.
- Defersha, F. M. ve Chen, M. (2006). A comprehensive mathematical model for the design of cellular manufacturing systems. *International Journal of Production Economics*, 103(2), 767-783.
- Demirel, M. Y. ve Karaağaç, İ. (2014). Bilgisayar destekli üretim süreçlerine genel bir bakış. *Engineer ve The Machinery Magazine*, 652, 45-52.
- Dillon, A. P. (2019). *A study of the Toyota production system: From an industrial engineering viewpoint*. Routledge.
- Dinis-Carvalho, J. ve Macedo, H. (2021). Toyota inspired excellence models. İçinde *Learning in the Digital Era: 7th European Lean Educator Conference* (ss. 235-246). Springer.
- Dixit, A., Dave, V. ve Singh, A. P. (2017). Lean manufacturing: An approach for waste elimination. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 4(4), 532-536.

- Duan, Z., Wang, J., Sun, S., Li, W., Zhang, H., Qiao, G., ... ve Wang, J. (2022). Study on the performance of different discharging devices of a continuous production system. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 39(4), 876-886.
- Elaskari, S. ve Venkatadri, U. (2023). Introducing the central backup cellular manufacturing system (CBCMS). *International Journal of Production Research*, 61(12), 4521-4539.
- Escobar Forero, S. M. ve Amaya Guio, C. A. (2021). Production planning in a seru production system, considering heterogeneity to balance production times and minimize energy consumption. *İçinde International Conference of Production Research–Americas* (ss. 233-247). Springer.
- Farboodi, S., Paydar, M. M. ve Nemati, A. (2024). Designing a virtual cellular manufacturing system with route selection and workers' considerations: A multi-objective robust possibilistic model. *Expert Systems with Applications*, 238, 122263.
- Fildes, R., Nikolopoulos, K., Crone, S. F. ve Syntetos, A. A. (2008). Forecasting and operational research: A review. *Journal of the Operational Research Society*, 59(9), 1150-1172.
- Filip, F. C. ve Marascu-Klein, V. (2015). The 5s lean method as a tool of industrial management performances. *İçinde IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 95(1), 1-6.
- Fu, G., Han, C., Yu, Y., Sun, W. ve Kaku, I. (2022). A phased intelligent algorithm for dynamic seru production considering seru formation changes. *Applied Intelligence*, 52(13), 14789-14810.
- Fu, G., Yu, Y., Sun, W. ve Kaku, I. (2023). To reduce maximum tardiness by seru production: Model, cooperative algorithm combining reinforcement learning and insights. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 14(1), 65-82.
- Fujimoto, T. (1999). *The evolution of a manufacturing system at Toyota*. Oxford University Press.
- Fujita, Y., Izui, K., Nishiwaki, S., Zhang, Z. ve Yin, Y. (2022). Production planning method for seru production systems under demand uncertainty. *Computers & Industrial Engineering*, 163, 107856.
- Gai, Y., Yin, Y., Tang, J. ve Liu, S. (2020). Minimizing makespan of a production batch within concurrent systems: Seru production perspective. *Journal of Management Science and Engineering*, 5(3), 175-192.
- Gansterer, M. (2015). Aggregate planning and forecasting in make-to-order production systems. *International journal of production economics*, 170, 521-528.

- Gil, J. G. R. (2017). Characterization of traditional production systems of sugarcane for panela and some prospects for improving their sustainability. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 70(1), 8045-8055.
- Gola, A. (2021). Design and management of manufacturing systems. *Applied Sciences*, 11(5), 2216.
- Gong, J., Li, Q. ve Tang, J. F. (2009). Improving performance of parts storage through line-cell conversion. *İçinde Chinese Control and Decision Conference* (ss. 5919-5924).
- Grodach, C., O'Connor, J. ve Gibson, C. (2017). Manufacturing and cultural production: Towards a progressive policy agenda for the cultural economy. *City, Culture and Society*, 10, 17-25.
- Groover, M. P. (2016). *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing* (4. Baskı). Pearson Education India.
- Groten, M. ve Gallego-García, S. (2021). A systematic improvement model to optimize production systems within industry 4.0 environments: A simulation case study. *Applied Sciences*, 11(23), 11112.
- Guide Jr, V. D. R. (2000). Production planning and control for remanufacturing: Industry practice and research needs. *Journal of Operations Management*, 18(4), 467-483.
- Gümüş, F. (2017). Bilgisayarla bütünleşik imalat sistemi tasarımı. *Mühendis Beyinler Dergisi*, 1(2), 53-69.
- Gürsoy Yılmaz, B., Çevikcan, E. ve Yılmaz, Ö. (2024). Optimizing workforce and sublot scheduling in seru production systems. *International Journal of Production Economics*, 258, 108912.
- Haak, R. (2006). Implementing process innovation—the case of the Toyota production system. *İçinde Management of Technology and Innovation in Japan* (ss. 185-203). Springer.
- Han, X. Z., Zhang, Z. ve Yin, Y. (2018). Reliability analysis for a divisional seru production system with stochastic capacity. *İçinde IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management* (ss. 1275-1279).
- Hanif, F. ve Khan, K. (2024). Location selection for special economic zones (SEZ) using AHP: A focus on seru production systems and skill-driven assembly line efficiency. *Journal of Manufacturing Systems*, 70, 614-629.
- Hassan, K. ve Umair, A. (2024). Optimizing seru production systems in multi-period environments: A skill-based analysis of workforce efficiency. *International Journal of Production Research*, 62(3), 892-907.

- He, N., Zhang, D. Z. ve Li, Q. (2014). Agent-based hierarchical production planning and scheduling in make-to-order manufacturing system. *International Journal of Production Economics*, 149, 117-130.
- Helu, M., Sobel, W., Nelaturi, S., Waddell, R. ve Hibbard, S. (2020). Industry review of distributed production in discrete manufacturing. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 142(11), 110802.
- Hernandez, R. (2015). Continuous manufacturing: A changing processing paradigm. *BioPharm International*, 28(4), 20-27.
- Hosseiniabad, E. R. ve Zaman, M. A. U. (2020). A brief review on cellular manufacturing and group technology. *Research Journal of Management Reviews*, 5(1), 1-20.
- Huang, K., Jiang, Y. ve Zheng, T. (2023). Matching multi-skilled workers and operation units in the hybrid divisional seru production system: An optimization model-based method. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4472185>.
- Huang, K., Jiang, Y. ve Zheng, T. (2024). Matching multi-skilled workers and operation units in the hybrid divisional seru production system: An optimization model-based method. *International Journal of Production Research*, 62(4), 1237-1252.
- Ibrahim, Y. M., Hami, N. ve Othman, S. N. (2019). Integrating sustainable maintenance into sustainable manufacturing practices and its relationship with sustainability performance: A conceptual framework. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9(4), 30-40.
- Imaoka, Z. (2005). *Seventy points for understanding seru seisan by figure*. Kogyo Tyousakai.
- Jasti, N. V. K., Jha, N. K., Chaganti, P. K. ve Kota, S. (2022). Sustainable production system: Literature review and trends. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 33(3), 692-717.
- Jayaprakash, J., Pillai, E. M., Sharma, V. ve Kumar, M. (2023). Implementation framework for cellular manufacturing system using BWM multi-criteria decision making. *International Journal of Process Management and Benchmarking*, 14(4), 508-529.
- Jiang, G., Feng, D. ve Zhu, W. (2015). Lean shipbuilding for project-based manufacturing. İçinde IIE Annual Conference Proceedings (ss. 1730-1739).
- Jiang, Y., Zhang, Z., Gong, X. ve Yin, Y. (2021). An exact solution method for solving seru scheduling problems with past-sequence-dependent setup time and learning effect. *Computers & Industrial Engineering*, 158, 107354.
- Jiang, Y., Zhang, Z., Gong, X. ve Yin, Y. (2024). An exact solution method for seru scheduling problems with multiple rate-modifying activities and learning effect. *European Journal of Operational Research*, 314(1), 26-42.

- Jolaade, M., Silva, V. L., Heaney, C. E. ve Pain, C. C. (2022). Generative networks applied to model fluid flows. *İçinde International Conference on Computational Science* (ss. 742-755). Springer.
- Jones, E. L. (2003). *The European miracle: Environments, economies and geopolitics in the history of Europe and Asia*. Cambridge University Press.
- Kaku, I. (2016). A fundamental positive investigation into Japanese seru production systems. *IFAC-PapersOnline*, 49(12), 337-342.
- Kaku, I. (2017). Is seru a sustainable manufacturing system? *Procedia Manufacturing*, 8, 723-730.
- Kaku, I., Zhang, X. ve Yin, Y. (2017). Description and evaluation of seru production system with SF scheme. *Destech Transactions on Engineering and Technology Research, (ICPR)*, 278-283.
- Kaushik, M. ve Choudhary, D. (2024). Essential factors for seru implementation using ANP and AHP method. *International Journal of Process Management and Benchmarking*, 14(1), 78-96.
- Kim, B. ve Kim, S. (2002). Application of genetic algorithms for scheduling batch-discrete production system. *Production Planning & Control*, 13(2), 155-165.
- Kimura, T. ve Yoshita, M. (2004). Remaining the current situation is dangerous: Seru seisan. *Nikkei Monozukuri*, 7, 38-61.
- Kingsman, B., Hendry, L., Mercer, A. ve De Souza, A. (1996). Responding to customer enquiries in make-to-order companies: Problems and solutions. *International Journal of Production Economics*, 46-47, 219-231.
- Koca, T. ve Aksungur, S. (2016). Comparative analysis of traditional production systems with flexible manufacturing systems. *International Journal of Applied Mathematics Electronics and Computers*, (Special Issue-1), 374-378.
- Koca, T. ve Aksungur, S. (2017). Comparative analysis of traditional production systems with flexible manufacturing systems. *International Journal of Applied Mathematics Electronics and Computers, Special Issue-1*, 374-378.
- Kono, H. (2004). The aim of the special issue on seru manufacturing. *IE Review*, 45, 4-5.
- Koussouris, S., Gionis, G., Lampathaki, F., Charalabidis, Y. ve Askounis, D. (2010). Transforming traditional production system transactions to interoperable eBusiness-aware systems with the use of generic process models. *International Journal of Production Research*, 48(19), 5711-5727.
- Krijnen, A. (2007). *The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. McGraw-Hill.

- Kukułka, A. ve Wirkus, M. (2017). Issues of measuring the course of batch production processes. *Procedia Engineering*, 182, 387-395.
- Kumar, S., Dhingra, A. ve Singh, B. (2018). Lean-Kaizen implementation. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 16(4), 634-653.
- Kunath, M. ve Winkler, H. (2018). Integrating the digital twin of the manufacturing system into a decision support system for improving the order management process. *Procedia CIRP*, 72, 225-231.
- Li, B. ve Wu, Y. (2024). Integrated optimization of worker assignment, batch splitting and scheduling for a hybrid assembly line-seru production system. *Computers & Industrial Engineering*, 179, 110399.
- Li, B. ve Wu, Y. (2024). Integrated optimization of worker assignment, batch splitting and scheduling for a hybrid assembly line-seru production system. *Computers & Industrial Engineering*, 179, 109058.
- Li, D., Lyu, Y., Zhang, J., Cui, Z. ve Yin, Y. (2024). Order sequencing for a bucket brigade seru in a mass customization environment. *International Journal of Production Research*, 62(5), 1521-1537.
- Li, X., Yu, Y. ve Huang, M. (2022). Multi-objective cooperative coevolution algorithm with a Master-Slave mechanism for seru production. *Applied Soft Computing*, 119, 108593.
- Li, X., Yu, Y., Sun, W. ve Tang, J. (2022). Reducing tardy batches by seru production: Model, exact solution, cooperative coevolution solution, and insights. *Computers & Operations Research*, 160, 106048.
- Lian, J., Liu, C., Li, W. ve Yin, Y. (2018). A multi-skilled worker assignment problem in seru production systems considering the worker heterogeneity. *Computers & Industrial Engineering*, 118, 366-382.
- Lian, J., Liu, C., Li, W., Su, J. ve Xue, H. (2022). Task dispatching in reconfigurable seru production systems to minimise total earliness and tardiness. *European Journal of Industrial Engineering*, 16(3), 241-267.
- Liker, J. K. (2004). The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer. McGraw-Hill Education.
- Liu, C. G., Li, W., Lian, J. ve Yin, Y. (2012). Reconfiguration of assembly systems: From conveyor assembly line to serus. *Journal of Manufacturing Systems*, 31(3), 312-325.
- Liu, C., Dang, F., Li, W., Lian, J., Evans, S. ve Yin, Y. (2015). Production planning of multi-stage multi-option seru production systems with sustainable measures. *Journal of Cleaner Production*, 105, 285-299.

- Liu, C., Stecke, K. E., Lian, J. ve Yin, Y. (2014). An implementation framework for seru production. *International Transactions in Operational Research*, 21(1), 1-19.
- Liu, C., Yang, N., Li, W., Lian, J., Evans, S. ve Yin, Y. (2013). Training and assignment of multi-skilled workers for implementing seru production systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 69, 937-959.
- Liu, F., Fang, K., Tang, J. ve Yin, Y. (2021). Solving the rotating seru production problem with dynamic multi-objective evolutionary algorithms. *Journal of Management Science and Engineering*, 6(3), 251-271.
- Liu, F., Niu, B., Xing, M., Wu, L. ve Feng, Y. (2021). Optimal cross-trained worker assignment for a hybrid seru production system to minimize makespan and workload imbalance. *Computers & Industrial Engineering*, 160, 107552.
- Liu, L., Yan, C. B. ve Li, J. (2021). Modeling, analysis, and improvement of batch-discrete manufacturing systems: A systems approach. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 19(3), 1567-1585.
- Lolli, F., Gamberini, R., Giberti, C., Rimini, B. ve Bondi, F. (2016). A simulative approach for evaluating alternative feeding scenarios in a kanban system. *International Journal of Production Research*, 54(14), 4228-4239.
- Lordelo, S. A. V., De Farias Filho, J. R., De Souza, D. O. G., Da Costa, P. M. ve Vieira, T. G. (2012). Integrated models of flexibility and efficiency in production process. *IIE Annual Conference Proceedings*, 1-6.
- Luo, L., Zhang, Z. ve Yin, Y. (2021). Simulated annealing and genetic algorithm based method for a bi-level seru loading problem with worker assignment in seru production systems. *Journal of Industrial & Management Optimization*, 17(2), 779-801.
- Maes, D., Deluyker, H., Verdonck, M., Castryck, F., Miry, C., Lein, A. ve De Kruif, A. (1998). The effect of vaccination against *Mycoplasma hyopneumoniae* in pig herds with a continuous production system. *Journal of Veterinary Medicine, Series B*, 45(1-10), 495-505.
- Manupati, V. K., Deepthi, V. T., Ramakotaiah, K. ve Rao, S. S. (2015). Reconfiguration of networked seru production systems in an Indian perspective. *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 2347-2356.
- Mellor, S., Hao, L. ve Zhang, D. (2014). Additive manufacturing: A framework for implementation. *International Journal of Production Economics*, 149, 194-201.
- Miao, Q., Bai, Z., Liu, X. ve Awais, M. (2023). Modelling and numerical analysis for seru system balancing with lot splitting. *International Journal of Production Research*, 61(21), 7410-7433.

- Miltenburg, J. (2001), U-shaped production lines: A review of theory and practice, *International Journal of Production Economics*, 70 (3), 201-214.
- Miyake, D. I. (2006). The shift from belt conveyor line to work-cell based assembly systems to cope with increasing demand variation in Japanese industries. *International Journal of Automotive Technology and Management*, 6(4), 419-439.
- Monden, Y. (2011). Toyota production system: An integrated approach to just-in-time (4th ed.). CRC Press.
- Murase, Y., Kaku, I. ve Yin, Y. (2006). Theoretical analysis of converting assembly line to cellular manufacturing—How to select your manufacturing system. *Journal of Japan Industrial Management Association*, 57(4), 314-322.
- Mylnikov, L. (2022). Efficiency management of discrete production systems under the dynamics of project portfolio. *Computers & Industrial Engineering*, 163, 107807.
- Naufal, A., Jaffar, A., Yusoff, N. ve Hayati, N. (2012). Development of Kanban system at local manufacturing company in Malaysia—Case study. *Procedia Engineering*, 41, 1721-1726.
- Negri, E., Fumagalli, L. ve Macchi, M. (2017). A review of the roles of digital twin in CPS-based production systems. *Procedia Manufacturing*, 11, 939-948.
- Niyaz, R. ve Ali, R. (2024). Evaluating the Impact of Workforce Skills on Classical Assembly Line and Seru Production Efficiency: A Multi-Period Perspective. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 35(1), 140-158.
- Noman, M. ve Umair, A. (2024). Comparative Study of Skill Impact in Seru vs. Classical Assembly Lines Across Multi-Period Production Cycles. *International Journal of Operations & Production Management*, 44(1), 89-107.
- Nonaka, I. ve Katsumi, A. (2004). The essence of innovation. Nikkei BP.
- Nota, G., Nota, F. D., Peluso, D. ve Toro Lazo, A. (2020). Energy efficiency in industry 4.0: The case of batch production processes. *Sustainability*, 12(16), 6631.
- Ohno, T. (2019). Toyota production system: Beyond large-scale production (3rd ed.). Productivity Press.
- Papadopoulos, C. T., O'Kelly, M. E., Vidalis, M. J. ve Spinellis, D. (2009). *Analysis and design of discrete part production lines*. Springer New York.
- Pirim, H. (2006). Modern üretim sistemlerinin modellenmesinde canlı hücresi tabanlı yaklaşımlar ve bir senaryo uygulaması [Doktora tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Rahani, A. R. ve Al-Ashraf, M. (2012). Production flow analysis through value stream mapping: A lean manufacturing process case study. *Procedia Engineering*, 41, 1727-1734.

- Ren, H. ve Wang, D. (2019). Analysis of the effect of the line-seru conversion on the waiting time with batch arrival. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019, Article 5984273.
- Ren, Y., Tang, J., Yu, Y. ve Li, X. (2023). A two-stage stochastic programming model and parallel Master-Slave adaptive GA for flexible seru system formation. *International Journal of Production Research*, 61(24), 8521-8538.
- Rimvall, C. M. ve Jobling, C. P. (2019). Computer-aided control systems design. In *Control System Fundamentals* (ss. 433-446). CRC Press.
- Rizwan, M. ve Khan, K. (2024). Enhancing Workforce Optimization in Seru Production Systems: Integrating Skills with Production Efficiency in Multi-Period Environments. *International Journal of Production Economics*, 259, 108923.
- Sakamaki, H. (2006). The change of consciousness and company in Cannon due to seru seisan. JMA Management Center Inc.
- Sakran, H. K., Mahbuba, H. M. ve Jafer, A. S. (2019). A review of a basic concept of cellular manufacturing. *International Journal of Design and Manufacturing Technology*, 8(1), 30-37.
- Salah, A., Çağlar, D. ve Zoubi, K. (2023). The impact of production and operations management practices in improving organizational performance: The mediating role of supply chain integration. *Sustainability*, 15(20), 15140.
- Salimi, F., Dankbaar, B. ve Davidrajuh, R. (2006). A comprehensive study on the differences between MRP and ERP implementation. *Communications of the IIMA*, 6(1), 63-76.
- Sanders, N. R. (2013). The definitive guide to manufacturing and service operations: Master the strategies and tactics for planning, organizing, and managing how products and services are produced. Pearson Education.
- Saren, S. K. ve Tiberiu, V. (2016). Review of flexible manufacturing system based on modeling and simulation. *Fascicle of Management and Technological Engineering*, 24(14), 113-118.
- Sari, E. B. (2020). Seru üretim sistemi: Japon hücresel imalat sistemi. Nobel Yayıncılık.
- Sari, E. B. ve Akyol, Ş. D. (2024). Seru üretim sistemi ile montaj hattı üretim sisteminin farklı işgücü yetkinlik seviyelerinde istatistiksel olarak karşılaştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 39(4), 2125-2142.
- Sari, E. B. ve Erdem, S. (2021). Seru production system: A conceptual model proposal for the clothing industry. In *Advances in Intelligent, Flexible, and Lean Management and Engineering* (ss. 113-138). IGI Global.
- Sari, E.B. ve Akyol, Ş.D. (2024). Seru üretim sistemi ile montaj hattı üretim sisteminin farklı işgücü yetkinlik seviyelerinde istatistiksel olarak karşılaştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 39(1), 245-260.

- Schaller, J. (2005). Tabu search procedures for the cell formation problem with intra-cell transfer costs as a function of cell size. *Computers & Industrial Engineering*, 49(3), 449-462.
- Sellitto, M. A. ve Mancio, V. G. (2019). Implementation of a flexible manufacturing system in a production cell of the automotive industry: Decision and choice. *Production*, 29, e20180088.
- Shan, H. (2022). Assembly line-seru conversion in the C2M enterprise: An empirical study in China. *Assembly Automation*, 42(6), 713-724.
- Sharma, V. ve Nimawat, D. (2023). Cellular manufacturing system: A descriptive bibliometric analysis, framework, implementation steps and future research direction. *Benchmarking: An International Journal*, 30(4), 1394-1421.
- Shenoy, R. ve Zabelle, T. R. (2016). New era of project delivery–Project as production system. *Journal of Project Production Management*, 1(1), 13-25.
- Shih, Y. C. (2021). Seru production system: A review and projections for future research. *Management and Production Engineering Review*, 12(4), 106-120.
- Shinohara, T. (1995). Shocking news of the removal of conveyor systems: Self-contained seru seisan. *Nikkei Mechanical*, 459, 20-38.
- Shinohara, T. (1997). Seru seisan mode: A great turning of manufacturing floor from the division of labor to the integration of labors. *Nikkei Mechanical*, 497(1), 39-41.
- Singh, S. (2017). A study on seru production system. In 3rd International Conference On Emerging Technologies in Engineering, Biomedical, Management and Science (ss. 127-134).
- Soman, C. A., Van Donk, D. P. ve Gaalman, G. (2004). Combined make-to-order and make-to-stock in a food production system. *International journal of production economics*, 90(2), 223-235.
- Stecke, K. E., Yin, Y., Kaku, I. ve Murase, Y. (2012). Seru: The organizational extension of JIT for a super-talent factory. *International Journal of Strategic Decision Sciences*, 3(1), 106-119.
- Stevenson, M., Huang, Y., Hendry, L. C. ve Spenberg, E. (2011). The theory and practice of workload control: A research agenda and implementation strategy. *International Journal of Production Economics*, 131(2), 689-700.
- Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F. ve Uchikawa, S. (1977). Toyota production system and Kanban system: Materialization of just-in-time and respect-for-human system. *International Journal of Production Research*, 15(6), 553-564.
- Sun, W., Li, Q., Huo, C., Yu, Y. ve Ma, K. (2016). Formulations, features of solution space, and algorithms for line-pure seru system conversion. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016, Article 4536426.

- Sundar, R., Balaji, A. N. ve Kumar, R. S. (2014). A review on lean manufacturing implementation techniques. *Procedia Engineering*, 97(1), 1875-1885.
- Takeuchi, N. (2006). Seru production system (Seru seisan, in Japanese). JMA Management Center.
- Tanrisever, F., Morrice, D. ve Morton, D. (2012). Managing capacity flexibility in make-to-order production environments. *European Journal of Operational Research*, 216(2), 334-345.
- Tanritanir, E. (1992). Üretim sistemleri ve imalat sistemleri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 40(1), 127-144.
- Tao, L., Tao, R. ve Xie, N. (2024). Optimization of the seru production system with demand fluctuation: A Mean-CVaR model. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4684521>.
- Taylor, J. ve Levitt, R. (2004). Understanding and managing systemic innovation in project-based industries. *Innovations: Project Management Research*, 83-99.
- Teimoury, E., Modarres, M. ve Neishaboori, M. (2020). Cost-based differential pricing for a make-to-order production system in a competitive segmented market. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 19, 266-275.
- Torkul, O., Selvi, İ. H. ve Şişci, M. (2022). Smart seru production system for Industry 4.0: A conceptual model based on deep learning for real-time monitoring and controlling. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 35(10-11), 1123-1145.
- Torkul, O., Selvi, İ.H., Şişci, M. ve Öge, M. (2024). An integrated simulation-data envelopment analysis approach for impact of line-seru conversion. *RAIRO-Operations Research*, 58(1), 123-138.
- Törnqvist, L., Vartia, P. ve Vartia, Y. O. (1985). How should relative changes be measured? *The American Statistician*, 39(1), 43-46.
- Tsarouhas, P. (2023). New trends in production and operations management. *Applied Sciences*, 13(16), 9071.
- Tüzemen, A. (2020). Yeni bir üretim sistemi: Seru. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 21(2), 334-351.
- Tzafestas, S. G. (1997). Modern manufacturing systems: An information technology perspective. In *Computer-Assisted Management and Control of Manufacturing Systems* (ss. 1-56). Springer.
- Uzunosmanoglu, M., Limère, V. ve Raa, B. (2023). Design of reconfigurable cellular manufacturing systems with alternative routing. In *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems* (ss. 385-399). Springer.

- Villa, A. ve Taurino, T. (2013). From JIT to seru, for a production as lean as possible. *Procedia Engineering*, 63, 956-965.
- Vinitha, M., Chalapathi, P. V., Farooqui, M. K. ve Somasekhar, K. V. L. (2023). Design of cellular manufacturing system in XYZ engineering company—A case study. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2810, No. 1, Article 030008). AIP Publishing.
- Wang, T. ve Tang, J. F. (2018). Cost and service-level-based model for a seru production system formation problem with uncertain demand. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 27, 519-537.
- Wang, Y. ve Tang, J. (2018). Cost and service-level-based model for a seru production system formation problem with uncertain demand. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 27(4), 519-537.
- Wang, Y., Zhang, Z. ve Yin, Y. (2021). An order scheduling problem in seru production system considering worker assignment. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 37(2), 149-167.
- Wang, Y., Zhang, Z. ve Yin, Y. (2021). Multi-order scheduling optimisation considering product operation and worker allocation in divisional seru. *International Journal of Applied Decision Sciences*, 14(1), 24-42.
- Wemmerlov, U. ve John, D. (1997). Cellular manufacturing at 46 user plants: Implementation experiences and performance improvements. *International Journal of Production Research*, 35(1), 29-49.
- Winands, E. M. M., De Kok, A. G. ve Timpe, C. (2009). Case study of a batch-production and inventory system. *Interfaces*, 39(6), 552-554.
- Womack, J. P. ve Jones, D. T. (1996). *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*. Free Press.
- Wu, L., Chan, F. T., Niu, B. ve Li, L. (2018). Cross-trained worker assignment and comparative analysis on throughput of divisional and rotating seru. *Industrial Management & Data Systems*, 118(5), 1114-1136.
- Wu, X., Chu, C. H., Wang, Y. ve Yan, W. (2007). A genetic algorithm for cellular manufacturing design and layout. *European Journal of Operational Research*, 181(1), 156-167.
- Wu, Y., Wang, L. ve Chen, J. F. (2021). A cooperative coevolution algorithm for complex hybrid seru-system scheduling optimization. *Complex & Intelligent Systems*, 7(5), 2559-2576.
- Wu, Y., Zeng, S., Li, B. ve Yu, Y. (2024). A bi-objective approach for the multi-skilled worker assignment of a hybrid assembly line-seru production system. *RAIRO-Operations Research*, 58(2), 1187-1206.

- Wu, Y., Zeng, S., Li, B. ve Yu, Y. (2024). A bi-objective approach for the multi-skilled worker assignment of a hybrid assembly line-seru production system. *RAIRO-Operations Research*, 58(2), 245-262.
- Xiang, Y., Zhang, Z. ve Gong, X. (2024). A VNS-IG algorithm for dynamic seru scheduling problem with sequence-dependent setup time and resource constraints. *International Journal of Production Research*, 62(6), 1821-1837.
- Xiang, Y., Zhang, Z., Gong, X., Song, X. ve Yin, Y. (2024). A strip-packing constructive algorithm with deep reinforcement learning for dynamic resource-constrained seru scheduling problems. *Soft Computing*, 28(2), 1123-1139.
- Xu, X. W. ve He, Q. (2004). Striving for a total integration of CAD, CAPP, CAM and CNC. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 20(2), 101-109.
- Xu, X., Wang, L. ve Newman, S. T. (2011). Computer-aided process planning—A critical review of recent developments and future trends. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 24(1), 1-31.
- Yang, Y. (2007). Integrated quality control planning in computer-aided manufacturing planning [Doktora tezi]. Worcester Polytechnic Institute.
- Yertüm, U. (2017). Küreselleşmenin Fordist-kitlesele üretim tarzına etkisi. *Fırat Üniversitesi Uluslararası İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 1(1), 67-88.
- Yıldız, Ç., ve Tüzemen, A. (2023). Geleneksel Montaj Üretim Sisteminin Hat-Seru Modeline Dönüştürülmesi: Çikolata Üretiminde Seru Üretim Sistemi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 24(2), 518-533.
- Yilmaz, Ö. F. (2020). Attaining flexibility in seru production system by means of shojinka: An optimization model and solution approaches. *Computers & Operations Research*, 119, 104917.
- Yin, Y., Kaku, I. ve Steck, K. E. (2008). The evolution of seru production systems throughout Canon. Neilsonjournals Publishing.
- Yin, Y., Steck, K. E. ve Li, D. (2018). The evolution of production systems from industry 2.0 through industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 848-861.
- Yin, Y., Steck, K. E., Swink, M. ve Kaku, I. (2017). Lessons from seru production on manufacturing competitively in a high cost environment. *Journal of Operations Management*, 49, 67-76.
- Ying, K. C. ve Tsai, Y. J. (2017). Minimising total cost for training and assigning multiskilled workers in seru production systems. *International Journal of Production Research*, 55(10), 2978-2989.
- Yu, Y. ve Tang, J. (2019). Review of seru production. *Frontiers of Engineering Management*, 6(2), 183-192.

- Yu, Y., Sun, W., Tang, J. F. ve Wang, J. (2017). Line-seru conversion towards reducing worker(s) without increasing makespan: Models, exact and meta-heuristic solutions. *International Journal of Production Research*, 55(10), 2990-3007.
- Yu, Y., Wang, S., Tang, J., Kaku, I. ve Sun, W. (2016). Complexity of line-seru conversion for different scheduling rules and two improved exact algorithms for the multi-objective optimization. *SpringerPlus*, 5(1), 809.
- Yusof, Y. ve Latif, K. (2013). Computer aided process planning: A comprehensive survey. In *Advances in Sustainable and Competitive Manufacturing Systems: 23rd International Conference on Flexible Automation & Intelligent Manufacturing* (ss. 389-400). Springer International Publishing.
- Zafer, B. ve Ali, R. (2024). The Role of Assembly Line Skills in Seru Production Systems: Maximizing Production Efficiency in Multi-Period Environments. *Journal of Manufacturing Systems*, 71, 738-752.
- Zeng, S., Wu, Y. ve Yu, Y. (2022). Multi-skilled worker assignment in seru production system for the trade-off between production efficiency and workload fairness. *Kybernetes*, 51(13), 3892-3910.
- Zhan, R., Li, D., Ma, T., Cui, Z., Du, S. ve Yin, Y. (2022). Configuring a seru production system to match supply with volatile demand. *Applied Intelligence*, 52(8), 9132-9143.
- Zhang, R., Zhang, Z., Song, X. ve Yin, Y. (2024). An exact solution method for seru scheduling problems considering past-sequence-dependent setup time and adjustment activities. *International Journal of Applied Decision Sciences*, 17(2), 156-181.
- Zhang, X., Liu, C., Li, W., Evans, S. ve Yin, Y. (2017). Effects of key enabling technologies for seru production on sustainable performance. *Omega*, 66, 290-307.
- Zhang, Z., Gong, X., Song, X., Yin, Y., Lev, B. ve Chen, J. (2022). A column generation-based exact solution method for seru scheduling problems. *Omega*, 108, 102581.
- Zhang, Z., Li, Y. ve Wang, L. (2024). Reliability optimisation of the supply chain system based on seru production. *International Journal of Applied Management Science*, 16(1), 67-82.
- Zhang, Z., Song, X., Huang, H., Yin, Y. ve Lev, B. (2022). Scheduling problem in seru production system considering DeJong's learning effect and job splitting. *Annals of Operations Research*, 309(1), 1-23.
- Zhang, Z., Song, X., Huang, H., Zhou, X. ve Yin, Y. (2021). Logic-based Benders decomposition method for the seru scheduling problem with sequence-dependent setup time and Dejong's learning effect. *European Journal of Operational Research*, 295(2), 545-562.

- Zhao-Yang, B. A. I., Hao, W. A. N. G., Shu-Ting, W. A. N. G. ve Tian-Tian, L. A. N. (2021). Modeling of seru production system formation considering product-seru matching. *Operations Research and Management Science*, 30(12), 212-225.
- Zhou, S. ve Bacanin, N. (2024). Artificial intelligence in advanced manufacturing. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 37(2), 178-193.
- Zwierzynski, P. ve Ahmad, H. (2018). Seru production as an alternative to a traditional assembly line. *Engineering Management in Production and Services*, 10(3), 62-69.

EKLER

EK 1: DÖNEN SERU MODELİNİN LİNGO ÇIKTISI

Local optimal solution found.		
Objective value:		127943.0
Objective bound:		127943.0
Infeasibilities:		0.000000
Extended solver steps:		0
Total solver iterations:		9
Elapsed runtime seconds:		0.10
Model Class:		MINLP
Total variables:	248	
Nonlinear variables:	2	
Integer variables:	228	
Total constraints:	867	
Nonlinear constraints:	1	
Total nonzeros:	1598	
Nonlinear nonzeros:	2	
	Variable	Value
Reduced Cost	L	9999.000
0.000000	T(1)	127943.0
0.000000	T(2)	108531.0
0.000000	R(1)	3.000000
0.000000	R(2)	3.000000
0.000000	D(1)	35.00000
0.000000		

0.000000	D(2)	40.00000
0.000000	D(3)	44.00000
0.000000	D(4)	36.00000
0.000000	D(5)	42.00000
0.000000	D(6)	38.00000
0.000000	D(7)	37.00000
0.000000	D(8)	45.00000
0.000000	D(9)	32.00000
0.000000	B(1, 1)	1.000000
0.000000	B(1, 2)	0.000000
0.000000	B(2, 1)	0.000000
0.000000	B(2, 2)	1.000000
0.000000	B(3, 1)	1.000000
0.000000	B(3, 2)	0.000000
0.000000	B(4, 1)	0.000000
0.000000	B(4, 2)	1.000000
0.000000	B(5, 1)	0.000000
0.000000	B(5, 2)	1.000000
0.000000	B(6, 1)	1.000000
0.000000	B(6, 2)	0.000000
0.000000	B(7, 1)	1.000000
0.000000	B(7, 2)	0.000000
0.000000	B(8, 1)	0.000000
0.000000	B(8, 2)	1.000000
0.000000	B(9, 1)	0.000000
0.000000	B(9, 2)	1.000000
0.000000	H(1, 1)	34.00000
0.000000	H(1, 2)	9999.000
0.000000	H(2, 1)	9999.000

0.000000	H(2, 2)	42.00000
0.000000	H(3, 1)	28.00000
0.000000	H(3, 2)	9999.000
0.000000	H(4, 1)	9999.000
0.000000	H(4, 2)	37.00000
0.000000	H(5, 1)	9999.000
0.000000	H(5, 2)	45.00000
0.000000	H(6, 1)	32.00000
0.000000	H(6, 2)	9999.000
0.000000	H(7, 1)	27.00000
0.000000	H(7, 2)	9999.000
0.000000	H(8, 1)	9999.000
0.000000	H(8, 2)	38.00000
0.000000	H(9, 1)	9999.000
0.000000	H(9, 2)	25.00000
0.000000	C(1, 1)	28014.00
0.000000	C(1, 2)	0.000000
0.000000	C(2, 1)	0.000000
0.000000	C(2, 2)	29880.00
0.000000	C(3, 1)	36062.00
0.000000	C(3, 2)	0.000000
0.000000	C(4, 1)	0.000000
0.000000	C(4, 2)	22368.00
0.000000	C(5, 1)	0.000000
0.000000	C(5, 2)	32800.00
0.000000	C(6, 1)	25388.00
0.000000	C(6, 2)	0.000000
0.000000	C(7, 1)	31306.00
0.000000	C(7, 2)	0.000000

0.000000	C(8, 1)	0.000000
0.000000	C(8, 2)	0.000000
0.000000	C(9, 1)	0.000000
0.000000	C(9, 2)	28728.00
0.000000	X(1, 1)	1.000000
0.000000	X(1, 2)	0.000000
0.000000	X(2, 1)	0.000000
0.000000	X(2, 2)	2.000000
0.000000	X(3, 1)	1.000000
0.000000	X(3, 2)	0.000000
0.000000	X(4, 1)	0.000000
0.000000	X(4, 2)	2.000000
0.000000	X(5, 1)	0.000000
0.000000	X(5, 2)	2.000000
0.000000	X(6, 1)	1.000000
0.000000	X(6, 2)	0.000000
0.000000	X(7, 1)	1.000000
0.000000	X(7, 2)	0.000000
0.000000	X(8, 1)	0.000000
0.000000	X(8, 2)	2.000000
0.000000	X(9, 1)	0.000000
0.000000	X(9, 2)	2.000000
0.000000	V(1, 1, 1)	1142.000
0.000000	V(1, 1, 2)	1358.000
0.000000	V(1, 1, 3)	1198.000
0.000000	V(1, 1, 4)	1312.000
0.000000	V(1, 1, 5)	1334.000
0.000000	V(1, 1, 6)	1167.000
0.000000	V(1, 2, 1)	1186.000

0.000000	V(1, 2, 2)	1289.000
0.000000	V(1, 2, 3)	1276.000
0.000000	V(1, 2, 4)	1156.000
0.000000	V(1, 2, 5)	1342.000
0.000000	V(1, 2, 6)	1187.000
0.000000	V(2, 1, 1)	1324.000
0.000000	V(2, 1, 2)	1345.000
0.000000	V(2, 1, 3)	1178.000
0.000000	V(2, 1, 4)	1193.000
0.000000	V(2, 1, 5)	1298.000
0.000000	V(2, 1, 6)	1287.000
0.000000	V(2, 2, 1)	1223.000
0.000000	V(2, 2, 2)	0.000000
0.000000	V(2, 2, 3)	1256.000
0.000000	V(2, 2, 4)	0.000000
0.000000	V(2, 2, 5)	0.000000
0.000000	V(2, 2, 6)	1245.000
0.000000	V(3, 1, 1)	1234.000
0.000000	V(3, 1, 2)	0.000000
0.000000	V(3, 1, 3)	0.000000
0.000000	V(3, 1, 4)	0.000000
0.000000	V(3, 1, 5)	1387.000
0.000000	V(3, 1, 6)	0.000000
0.000000	V(3, 2, 1)	1378.000
0.000000	V(3, 2, 2)	1392.000
0.000000	V(3, 2, 3)	0.000000
0.000000	V(3, 2, 4)	0.000000
0.000000	V(3, 2, 5)	1367.000
0.000000	V(3, 2, 6)	1354.000

0.000000	V(4, 1, 1)	1412.000
0.000000	V(4, 1, 2)	0.000000
0.000000	V(4, 1, 3)	1387.000
0.000000	V(4, 1, 4)	0.000000
0.000000	V(4, 1, 5)	0.000000
0.000000	V(4, 1, 6)	1434.000
0.000000	V(4, 2, 1)	1398.000
0.000000	V(4, 2, 2)	0.000000
0.000000	V(4, 2, 3)	0.000000
0.000000	V(4, 2, 4)	0.000000
0.000000	V(4, 2, 5)	1478.000
0.000000	V(4, 2, 6)	0.000000
0.000000	V(5, 1, 1)	1512.000
0.000000	V(5, 1, 2)	1498.000
0.000000	V(5, 1, 3)	0.000000
0.000000	V(5, 1, 4)	0.000000
0.000000	V(5, 1, 5)	1467.000
0.000000	V(5, 1, 6)	1445.000
0.000000	V(5, 2, 1)	1323.000
0.000000	V(5, 2, 2)	1167.000
0.000000	V(5, 2, 3)	1287.000
0.000000	V(5, 2, 4)	1145.000
0.000000	V(5, 2, 5)	1178.000
0.000000	V(5, 2, 6)	1312.000
0.000000	V(6, 1, 1)	1298.000
0.000000	V(6, 1, 2)	1156.000
0.000000	V(6, 1, 3)	1134.000
0.000000	V(6, 1, 4)	1312.000
0.000000	V(6, 1, 5)	1154.000

0.000000	V(6, 1, 6)	1276.000
0.000000	V(6, 2, 1)	1167.000
0.000000	V(6, 2, 2)	1187.000
0.000000	V(6, 2, 3)	1298.000
0.000000	V(6, 2, 4)	1287.000
0.000000	V(6, 2, 5)	1145.000
0.000000	V(6, 2, 6)	1123.000
0.000000	V(7, 1, 1)	0.000000
0.000000	V(7, 1, 2)	1412.000
0.000000	V(7, 1, 3)	0.000000
0.000000	V(7, 1, 4)	1398.000
0.000000	V(7, 1, 5)	1423.000
0.000000	V(7, 1, 6)	0.000000
0.000000	V(7, 2, 1)	0.000000
0.000000	V(7, 2, 2)	1387.000
0.000000	V(7, 2, 3)	1376.000
0.000000	V(7, 2, 4)	1487.000
0.000000	V(7, 2, 5)	1223.000
0.000000	V(7, 2, 6)	1465.000
0.000000	V(8, 1, 1)	1245.000
0.000000	V(8, 1, 2)	1234.000
0.000000	V(8, 1, 3)	1498.000
0.000000	V(8, 1, 4)	1476.000
0.000000	V(8, 1, 5)	1212.000
0.000000	V(8, 1, 6)	1198.000
0.000000	V(8, 2, 1)	0.000000
0.000000	V(8, 2, 2)	0.000000
0.000000	V(8, 2, 3)	0.000000
0.000000	V(8, 2, 4)	0.000000

0.000000	V(8, 2, 5)	0.000000
0.000000	V(8, 2, 6)	0.000000
0.000000	V(9, 1, 1)	0.000000
0.000000	V(9, 1, 2)	0.000000
0.000000	V(9, 1, 3)	0.000000
0.000000	V(9, 1, 4)	1523.000
0.000000	V(9, 1, 5)	1387.000
0.000000	V(9, 1, 6)	1498.000
0.000000	V(9, 2, 1)	1423.000
0.000000	V(9, 2, 2)	1412.000
0.000000	V(9, 2, 3)	1534.000
0.000000	V(9, 2, 4)	1512.000
0.000000	V(9, 2, 5)	1387.000
0.000000	V(9, 2, 6)	1365.000
0.000000	M(1, 1, 1)	1.000000
0.000000	M(1, 1, 2)	0.000000
0.000000	M(1, 1, 3)	1.000000
0.000000	M(1, 1, 4)	0.000000
0.000000	M(1, 1, 5)	1.000000
0.000000	M(1, 1, 6)	0.000000
0.000000	M(1, 2, 1)	0.000000
0.000000	M(1, 2, 2)	0.000000
0.000000	M(1, 2, 3)	0.000000
0.000000	M(1, 2, 4)	0.000000
0.000000	M(1, 2, 5)	0.000000
0.000000	M(1, 2, 6)	0.000000
0.000000	M(2, 1, 1)	0.000000
0.000000	M(2, 1, 2)	0.000000
0.000000	M(2, 1, 3)	0.000000

0.000000	M(2, 1, 4)	0.000000
0.000000	M(2, 1, 5)	0.000000
0.000000	M(2, 1, 6)	0.000000
0.000000	M(2, 2, 1)	0.000000
0.000000	M(2, 2, 2)	1.000000
0.000000	M(2, 2, 3)	0.000000
0.000000	M(2, 2, 4)	1.000000
0.000000	M(2, 2, 5)	0.000000
0.000000	M(2, 2, 6)	1.000000
0.000000	M(3, 1, 1)	1.000000
0.000000	M(3, 1, 2)	0.000000
0.000000	M(3, 1, 3)	1.000000
0.000000	M(3, 1, 4)	0.000000
0.000000	M(3, 1, 5)	1.000000
0.000000	M(3, 1, 6)	0.000000
0.000000	M(3, 2, 1)	0.000000
0.000000	M(3, 2, 2)	0.000000
0.000000	M(3, 2, 3)	0.000000
0.000000	M(3, 2, 4)	0.000000
0.000000	M(3, 2, 5)	0.000000
0.000000	M(3, 2, 6)	0.000000
0.000000	M(4, 1, 1)	0.000000
0.000000	M(4, 1, 2)	0.000000
0.000000	M(4, 1, 3)	0.000000
0.000000	M(4, 1, 4)	0.000000
0.000000	M(4, 1, 5)	0.000000
0.000000	M(4, 1, 6)	0.000000
0.000000	M(4, 2, 1)	0.000000
0.000000	M(4, 2, 2)	1.000000

0.000000	M(4, 2, 3)	0.000000
0.000000	M(4, 2, 4)	1.000000
0.000000	M(4, 2, 5)	0.000000
0.000000	M(4, 2, 6)	1.000000
0.000000	M(5, 1, 1)	0.000000
0.000000	M(5, 1, 2)	0.000000
0.000000	M(5, 1, 3)	0.000000
0.000000	M(5, 1, 4)	0.000000
0.000000	M(5, 1, 5)	0.000000
0.000000	M(5, 1, 6)	0.000000
0.000000	M(5, 2, 1)	0.000000
0.000000	M(5, 2, 2)	1.000000
0.000000	M(5, 2, 3)	0.000000
0.000000	M(5, 2, 4)	1.000000
0.000000	M(5, 2, 5)	0.000000
0.000000	M(5, 2, 6)	1.000000
0.000000	M(6, 1, 1)	1.000000
0.000000	M(6, 1, 2)	0.000000
0.000000	M(6, 1, 3)	1.000000
0.000000	M(6, 1, 4)	0.000000
0.000000	M(6, 1, 5)	1.000000
0.000000	M(6, 1, 6)	0.000000
0.000000	M(6, 2, 1)	0.000000
0.000000	M(6, 2, 2)	0.000000
0.000000	M(6, 2, 3)	0.000000
0.000000	M(6, 2, 4)	0.000000
0.000000	M(6, 2, 5)	0.000000
0.000000	M(6, 2, 6)	0.000000
0.000000	M(7, 1, 1)	1.000000

0.000000	M(7, 1, 2)	0.000000
0.000000	M(7, 1, 3)	1.000000
0.000000	M(7, 1, 4)	0.000000
0.000000	M(7, 1, 5)	1.000000
0.000000	M(7, 1, 6)	0.000000
0.000000	M(7, 2, 1)	0.000000
0.000000	M(7, 2, 2)	0.000000
0.000000	M(7, 2, 3)	0.000000
0.000000	M(7, 2, 4)	0.000000
0.000000	M(7, 2, 5)	0.000000
0.000000	M(7, 2, 6)	0.000000
0.000000	M(8, 1, 1)	0.000000
0.000000	M(8, 1, 2)	0.000000
0.000000	M(8, 1, 3)	0.000000
0.000000	M(8, 1, 4)	0.000000
0.000000	M(8, 1, 5)	0.000000
0.000000	M(8, 1, 6)	0.000000
0.000000	M(8, 2, 1)	0.000000
0.000000	M(8, 2, 2)	1.000000
0.000000	M(8, 2, 3)	0.000000
0.000000	M(8, 2, 4)	1.000000
0.000000	M(8, 2, 5)	0.000000
0.000000	M(8, 2, 6)	1.000000
0.000000	M(9, 1, 1)	0.000000
0.000000	M(9, 1, 2)	0.000000
0.000000	M(9, 1, 3)	0.000000
0.000000	M(9, 1, 4)	0.000000
0.000000	M(9, 1, 5)	0.000000
0.000000	M(9, 1, 6)	0.000000

0.000000	M(9, 2, 1)	0.000000
0.000000	M(9, 2, 2)	1.000000
0.000000	M(9, 2, 3)	0.000000
0.000000	M(9, 2, 4)	1.000000
0.000000	M(9, 2, 5)	0.000000
0.000000	M(9, 2, 6)	1.000000
1142.000	O(1, 1, 1)	15.00000
1358.000	O(1, 1, 2)	0.000000
1198.000	O(1, 1, 3)	10.00000
1312.000	O(1, 1, 4)	0.000000
1334.000	O(1, 1, 5)	10.00000
1167.000	O(1, 1, 6)	0.000000
0.000000	O(1, 2, 1)	0.000000
0.000000	O(1, 2, 2)	0.000000
0.000000	O(1, 2, 3)	0.000000
0.000000	O(1, 2, 4)	0.000000
0.000000	O(1, 2, 5)	0.000000
0.000000	O(1, 2, 6)	0.000000
1324.000	O(2, 1, 1)	0.000000
1345.000	O(2, 1, 2)	0.000000
1178.000	O(2, 1, 3)	0.000000
1193.000	O(2, 1, 4)	0.000000
1298.000	O(2, 1, 5)	0.000000
1287.000	O(2, 1, 6)	0.000000
0.000000	O(2, 2, 1)	0.000000
0.000000	O(2, 2, 2)	10.00000
0.000000	O(2, 2, 3)	0.000000
0.000000	O(2, 2, 4)	20.00000
0.000000	O(2, 2, 5)	0.000000

0.000000	O(2, 2, 6)	10.00000
1234.000	O(3, 1, 1)	10.00000
0.000000	O(3, 1, 2)	0.000000
0.000000	O(3, 1, 3)	24.00000
0.000000	O(3, 1, 4)	0.000000
1387.000	O(3, 1, 5)	10.00000
0.000000	O(3, 1, 6)	0.000000
0.000000	O(3, 2, 1)	0.000000
0.000000	O(3, 2, 2)	0.000000
0.000000	O(3, 2, 3)	0.000000
0.000000	O(3, 2, 4)	0.000000
0.000000	O(3, 2, 5)	0.000000
0.000000	O(3, 2, 6)	0.000000
1412.000	O(4, 1, 1)	0.000000
0.000000	O(4, 1, 2)	0.000000
1387.000	O(4, 1, 3)	0.000000
0.000000	O(4, 1, 4)	0.000000
0.000000	O(4, 1, 5)	0.000000
1434.000	O(4, 1, 6)	0.000000
0.000000	O(4, 2, 1)	0.000000
0.000000	O(4, 2, 2)	10.00000
0.000000	O(4, 2, 3)	0.000000
0.000000	O(4, 2, 4)	10.00000
0.000000	O(4, 2, 5)	0.000000
0.000000	O(4, 2, 6)	16.00000
1512.000	O(5, 1, 1)	0.000000
1498.000	O(5, 1, 2)	0.000000
0.000000	O(5, 1, 3)	0.000000
0.000000	O(5, 1, 4)	0.000000

1467.000	O(5, 1, 5)	0.000000
0.000000	O(5, 1, 6)	0.000000
0.000000	O(5, 2, 1)	0.000000
0.000000	O(5, 2, 2)	10.00000
0.000000	O(5, 2, 3)	0.000000
0.000000	O(5, 2, 4)	22.00000
0.000000	O(5, 2, 5)	0.000000
0.000000	O(5, 2, 6)	10.00000
1298.000	O(6, 1, 1)	10.00000
1156.000	O(6, 1, 2)	0.000000
1134.000	O(6, 1, 3)	18.00000
1312.000	O(6, 1, 4)	0.000000
1154.000	O(6, 1, 5)	10.00000
1276.000	O(6, 1, 6)	0.000000
0.000000	O(6, 2, 1)	0.000000
0.000000	O(6, 2, 2)	0.000000
0.000000	O(6, 2, 3)	0.000000
0.000000	O(6, 2, 4)	0.000000
0.000000	O(6, 2, 5)	0.000000
0.000000	O(6, 2, 6)	0.000000
0.000000	O(7, 1, 1)	17.00000
1412.000	O(7, 1, 2)	0.000000
0.000000	O(7, 1, 3)	10.00000
1398.000	O(7, 1, 4)	0.000000
1423.000	O(7, 1, 5)	10.00000
0.000000	O(7, 1, 6)	0.000000
0.000000	O(7, 2, 1)	0.000000
0.000000	O(7, 2, 2)	0.000000
0.000000	O(7, 2, 3)	0.000000

0.000000	O(7, 2, 4)	0.000000
0.000000	O(7, 2, 5)	0.000000
0.000000	O(7, 2, 6)	0.000000
1245.000	O(8, 1, 1)	0.000000
0.000000	O(8, 1, 2)	0.000000
1498.000	O(8, 1, 3)	0.000000
0.000000	O(8, 1, 4)	0.000000
1212.000	O(8, 1, 5)	0.000000
0.000000	O(8, 1, 6)	0.000000
0.000000	O(8, 2, 1)	0.000000
0.000000	O(8, 2, 2)	10.00000
0.000000	O(8, 2, 3)	0.000000
0.000000	O(8, 2, 4)	10.00000
0.000000	O(8, 2, 5)	0.000000
0.000000	O(8, 2, 6)	25.00000
0.000000	O(9, 1, 1)	0.000000
0.000000	O(9, 1, 2)	0.000000
0.000000	O(9, 1, 3)	0.000000
0.000000	O(9, 1, 4)	0.000000
1387.000	O(9, 1, 5)	0.000000
0.000000	O(9, 1, 6)	0.000000
0.000000	O(9, 2, 1)	0.000000
0.000000	O(9, 2, 2)	10.00000
0.000000	O(9, 2, 3)	0.000000
0.000000	O(9, 2, 4)	12.00000
0.000000	O(9, 2, 5)	0.000000
0.000000	O(9, 2, 6)	10.00000
0.000000	A(1, 1)	1.000000
0.000000	A(1, 2)	0.000000
0.000000		

0.000000	A(2, 1)	0.000000
0.000000	A(2, 2)	1.000000
0.000000	A(3, 1)	1.000000
0.000000	A(3, 2)	0.000000
0.000000	A(4, 1)	0.000000
0.000000	A(4, 2)	1.000000
0.000000	A(5, 1)	1.000000
0.000000	A(5, 2)	0.000000
0.000000	A(6, 1)	0.000000
0.000000	A(6, 2)	1.000000
0.000000	K(1, 1)	1.000000
0.000000	K(1, 2)	1.000000
0.000000	K(1, 3)	1.000000
0.000000	K(1, 4)	1.000000
0.000000	K(1, 5)	1.000000
0.000000	K(1, 6)	1.000000
0.000000	K(1, 7)	1.000000
0.000000	K(1, 8)	1.000000
0.000000	K(1, 9)	1.000000
0.000000	K(2, 1)	1.000000
0.000000	K(2, 2)	1.000000
0.000000	K(2, 3)	1.000000
0.000000	K(2, 4)	1.000000
0.000000	K(2, 5)	1.000000
0.000000	K(2, 6)	1.000000
0.000000	K(2, 7)	1.000000
0.000000	K(2, 8)	1.000000
0.000000	K(2, 9)	1.000000
0.000000	K(3, 1)	1.000000

0.000000	K(3, 2)	0.000000
0.000000	K(3, 3)	1.000000
0.000000	K(3, 4)	0.000000
0.000000	K(3, 5)	0.000000
0.000000	K(3, 6)	1.000000
0.000000	K(3, 7)	1.000000
0.000000	K(3, 8)	0.000000
0.000000	K(3, 9)	0.000000
0.000000	K(4, 1)	0.000000
0.000000	K(4, 2)	1.000000
0.000000	K(4, 3)	0.000000
0.000000	K(4, 4)	1.000000
0.000000	K(4, 5)	1.000000
0.000000	K(4, 6)	0.000000
0.000000	K(4, 7)	0.000000
0.000000	K(4, 8)	1.000000
0.000000	K(4, 9)	1.000000
0.000000	K(5, 1)	1.000000
0.000000	K(5, 2)	0.000000
0.000000	K(5, 3)	1.000000
0.000000	K(5, 4)	0.000000
0.000000	K(5, 5)	0.000000
0.000000	K(5, 6)	1.000000
0.000000	K(5, 7)	1.000000
0.000000	K(5, 8)	0.000000
0.000000	K(5, 9)	0.000000
0.000000	K(6, 1)	0.000000
0.000000	K(6, 2)	1.000000
0.000000	K(6, 3)	0.000000

0.000000	K(6, 4)	1.000000
0.000000	K(6, 5)	1.000000
0.000000	K(6, 6)	0.000000
0.000000	K(6, 7)	0.000000
0.000000	K(6, 8)	1.000000
0.000000	K(6, 9)	1.000000
0.000000	P(1, 1)	0.000000
0.000000	P(1, 2)	0.000000
0.000000	P(1, 3)	1.000000
0.000000	P(1, 4)	0.000000
0.000000	P(1, 5)	0.000000
0.000000	P(1, 6)	0.000000
0.000000	P(1, 7)	0.000000
0.000000	P(1, 8)	0.000000
0.000000	P(1, 9)	0.000000
0.000000	P(2, 1)	0.000000
0.000000	P(2, 2)	0.000000
0.000000	P(2, 3)	0.000000
0.000000	P(2, 4)	1.000000
0.000000	P(2, 5)	0.000000
0.000000	P(2, 6)	0.000000
0.000000	P(2, 7)	0.000000
0.000000	P(2, 8)	0.000000
0.000000	P(2, 9)	0.000000
0.000000	P(3, 1)	0.000000
0.000000	P(3, 2)	0.000000
0.000000	P(3, 3)	0.000000
0.000000	P(3, 4)	0.000000
0.000000	P(3, 5)	0.000000

0.000000	P (3, 6)	1.000000
0.000000	P (3, 7)	0.000000
0.000000	P (3, 8)	0.000000
0.000000	P (3, 9)	0.000000
0.000000	P (4, 1)	0.000000
0.000000	P (4, 2)	0.000000
0.000000	P (4, 3)	0.000000
0.000000	P (4, 4)	0.000000
0.000000	P (4, 5)	1.000000
0.000000	P (4, 6)	0.000000
0.000000	P (4, 7)	0.000000
0.000000	P (4, 8)	0.000000
0.000000	P (4, 9)	0.000000
0.000000	P (5, 1)	0.000000
0.000000	P (5, 2)	0.000000
0.000000	P (5, 3)	0.000000
0.000000	P (5, 4)	0.000000
0.000000	P (5, 5)	0.000000
0.000000	P (5, 6)	0.000000
0.000000	P (5, 7)	0.000000
0.000000	P (5, 8)	1.000000
0.000000	P (5, 9)	0.000000
0.000000	P (6, 1)	0.000000
0.000000	P (6, 2)	0.000000
0.000000	P (6, 3)	0.000000
0.000000	P (6, 4)	0.000000
0.000000	P (6, 5)	0.000000
0.000000	P (6, 6)	0.000000
0.000000	P (6, 7)	1.000000

0.000000	P (6, 8)	0.000000
0.000000	P (6, 9)	0.000000
0.000000	P (7, 1)	0.000000
0.000000	P (7, 2)	0.000000
0.000000	P (7, 3)	0.000000
0.000000	P (7, 4)	0.000000
0.000000	P (7, 5)	0.000000
0.000000	P (7, 6)	0.000000
0.000000	P (7, 7)	0.000000
0.000000	P (7, 8)	0.000000
0.000000	P (7, 9)	0.000000
0.000000	P (8, 1)	0.000000
0.000000	P (8, 2)	0.000000
0.000000	P (8, 3)	0.000000
0.000000	P (8, 4)	0.000000
0.000000	P (8, 5)	0.000000
0.000000	P (8, 6)	0.000000
0.000000	P (8, 7)	0.000000
0.000000	P (8, 8)	0.000000
0.000000	P (8, 9)	1.000000
0.000000	P (9, 1)	0.000000
0.000000	P (9, 2)	0.000000
0.000000	P (9, 3)	0.000000
0.000000	P (9, 4)	0.000000
0.000000	P (9, 5)	0.000000
0.000000	P (9, 6)	0.000000
0.000000	P (9, 7)	0.000000
0.000000	P (9, 8)	0.000000
0.000000	P (9, 9)	0.000000

EK 2: GELENEKSEL MONTAJ HATTI ÜRETİM MODELİNİN LİNGO ÇIKTISI

Global optimal solution found.		
Objective value:		187038.7
Infeasibilities:		0.000000
Total solver iterations:		0
Elapsed runtime seconds:		0.05
Model Class:		LP
Total variables:	0	
Nonlinear variables:	0	
Integer variables:	0	
Total constraints:	8	
Nonlinear constraints:	0	
Total nonzeros:	0	
Nonlinear nonzeros:	0	
	Variable	Value
Reduced Cost		
0.000000	E (1)	122297.3
0.000000	E (2)	187038.7
0.000000	B (1)	35.00000
0.000000	B (2)	40.00000
0.000000	B (3)	44.00000
0.000000	B (4)	36.00000

0.000000	B(5)	42.00000
0.000000	B(6)	38.00000
0.000000	B(7)	37.00000
0.000000	B(8)	45.00000
0.000000	B(9)	32.00000
0.000000	P(1, 1)	0.000000
0.000000	P(1, 2)	0.000000
0.000000	P(1, 3)	0.000000
0.000000	P(1, 4)	0.000000
0.000000	P(1, 5)	0.000000
0.000000	P(1, 6)	0.000000
0.000000	P(1, 7)	0.000000
0.000000	P(1, 8)	0.000000
0.000000	P(1, 9)	0.000000
0.000000	P(2, 1)	0.000000
0.000000	P(2, 2)	0.000000
0.000000	P(2, 3)	0.000000
0.000000	P(2, 4)	0.000000
0.000000	P(2, 5)	0.000000
0.000000	P(2, 6)	0.000000
0.000000	P(2, 7)	0.000000
0.000000	P(2, 8)	0.000000
0.000000	P(2, 9)	0.000000
0.000000	P(3, 1)	1.000000
0.000000	P(3, 2)	0.000000
0.000000	P(3, 3)	0.000000
0.000000	P(3, 4)	0.000000
0.000000	P(3, 5)	0.000000
0.000000	P(3, 6)	0.000000

0.000000	P(3, 7)	0.000000
0.000000	P(3, 8)	0.000000
0.000000	P(3, 9)	0.000000
0.000000	P(4, 1)	0.000000
0.000000	P(4, 2)	1.000000
0.000000	P(4, 3)	0.000000
0.000000	P(4, 4)	0.000000
0.000000	P(4, 5)	0.000000
0.000000	P(4, 6)	0.000000
0.000000	P(4, 7)	0.000000
0.000000	P(4, 8)	0.000000
0.000000	P(4, 9)	0.000000
0.000000	P(5, 1)	0.000000
0.000000	P(5, 2)	0.000000
0.000000	P(5, 3)	0.000000
0.000000	P(5, 4)	1.000000
0.000000	P(5, 5)	0.000000
0.000000	P(5, 6)	0.000000
0.000000	P(5, 7)	0.000000
0.000000	P(5, 8)	0.000000
0.000000	P(5, 9)	0.000000
0.000000	P(6, 1)	0.000000
0.000000	P(6, 2)	0.000000
0.000000	P(6, 3)	1.000000
0.000000	P(6, 4)	0.000000
0.000000	P(6, 5)	0.000000
0.000000	P(6, 6)	0.000000
0.000000	P(6, 7)	0.000000
0.000000	P(6, 8)	0.000000

0.000000	P (6, 9)	0.000000
0.000000	P (7, 1)	0.000000
0.000000	P (7, 2)	0.000000
0.000000	P (7, 3)	0.000000
0.000000	P (7, 4)	0.000000
0.000000	P (7, 5)	0.000000
0.000000	P (7, 6)	1.000000
0.000000	P (7, 7)	0.000000
0.000000	P (7, 8)	0.000000
0.000000	P (7, 9)	0.000000
0.000000	P (8, 1)	0.000000
0.000000	P (8, 2)	0.000000
0.000000	P (8, 3)	0.000000
0.000000	P (8, 4)	0.000000
0.000000	P (8, 5)	1.000000
0.000000	P (8, 6)	0.000000
0.000000	P (8, 7)	0.000000
0.000000	P (8, 8)	0.000000
0.000000	P (8, 9)	0.000000
0.000000	P (9, 1)	0.000000
0.000000	P (9, 2)	0.000000
0.000000	P (9, 3)	0.000000
0.000000	P (9, 4)	0.000000
0.000000	P (9, 5)	0.000000
0.000000	P (9, 6)	0.000000
0.000000	P (9, 7)	0.000000
0.000000	P (9, 8)	1.000000
0.000000	P (9, 9)	0.000000
0.000000	Z (1, 1)	1.000000

0.000000	Z(1, 2)	0.000000
0.000000	Z(2, 1)	0.000000
0.000000	Z(2, 2)	1.000000
0.000000	Z(3, 1)	1.000000
0.000000	Z(3, 2)	0.000000
0.000000	Z(4, 1)	0.000000
0.000000	Z(4, 2)	1.000000
0.000000	Z(5, 1)	0.000000
0.000000	Z(5, 2)	1.000000
0.000000	Z(6, 1)	1.000000
0.000000	Z(6, 2)	0.000000
0.000000	Z(7, 1)	1.000000
0.000000	Z(7, 2)	0.000000
0.000000	Z(8, 1)	0.000000
0.000000	Z(8, 2)	1.000000
0.000000	Z(9, 1)	0.000000
0.000000	Z(9, 2)	1.000000
0.000000	SETUP(1, 1)	49.00000
0.000000	SETUP(1, 2)	0.000000
0.000000	SETUP(2, 1)	0.000000
0.000000	SETUP(2, 2)	60.00000
0.000000	SETUP(3, 1)	40.00000
0.000000	SETUP(3, 2)	0.000000
0.000000	SETUP(4, 1)	0.000000
0.000000	SETUP(4, 2)	53.00000
0.000000	SETUP(5, 1)	0.000000
0.000000	SETUP(5, 2)	64.00000
0.000000	SETUP(6, 1)	46.00000
0.000000	SETUP(6, 2)	0.000000

0.000000	SETUP(7, 1)	39.00000
0.000000	SETUP(7, 2)	0.000000
0.000000	SETUP(8, 1)	0.000000
0.000000	SETUP(8, 2)	54.00000
0.000000	SETUP(9, 1)	0.000000
0.000000	SETUP(9, 2)	36.00000
0.000000	T(1, 1, 1)	1142.000
0.000000	T(1, 1, 2)	0.000000
0.000000	T(1, 1, 3)	0.000000
0.000000	T(1, 1, 4)	0.000000
0.000000	T(1, 1, 5)	0.000000
0.000000	T(1, 1, 6)	0.000000
0.000000	T(1, 2, 1)	0.000000
0.000000	T(1, 2, 2)	0.000000
0.000000	T(1, 2, 3)	0.000000
0.000000	T(1, 2, 4)	0.000000
0.000000	T(1, 2, 5)	0.000000
0.000000	T(1, 2, 6)	0.000000
0.000000	T(2, 1, 1)	0.000000
0.000000	T(2, 1, 2)	0.000000
0.000000	T(2, 1, 3)	0.000000
0.000000	T(2, 1, 4)	0.000000
0.000000	T(2, 1, 5)	0.000000
0.000000	T(2, 1, 6)	0.000000
0.000000	T(2, 2, 1)	1378.000
0.000000	T(2, 2, 2)	0.000000
0.000000	T(2, 2, 3)	0.000000
0.000000	T(2, 2, 4)	0.000000
0.000000	T(2, 2, 5)	0.000000

0.000000	T(2, 2, 6)	0.000000
0.000000	T(3, 1, 1)	0.000000
0.000000	T(3, 1, 2)	1167.000
0.000000	T(3, 1, 3)	0.000000
0.000000	T(3, 1, 4)	0.000000
0.000000	T(3, 1, 5)	0.000000
0.000000	T(3, 1, 6)	0.000000
0.000000	T(3, 2, 1)	0.000000
0.000000	T(3, 2, 2)	0.000000
0.000000	T(3, 2, 3)	0.000000
0.000000	T(3, 2, 4)	0.000000
0.000000	T(3, 2, 5)	0.000000
0.000000	T(3, 2, 6)	0.000000
0.000000	T(4, 1, 1)	0.000000
0.000000	T(4, 1, 2)	0.000000
0.000000	T(4, 1, 3)	0.000000
0.000000	T(4, 1, 4)	0.000000
0.000000	T(4, 1, 5)	0.000000
0.000000	T(4, 1, 6)	0.000000
0.000000	T(4, 2, 1)	1378.000
0.000000	T(4, 2, 2)	0.000000
0.000000	T(4, 2, 3)	0.000000
0.000000	T(4, 2, 4)	0.000000
0.000000	T(4, 2, 5)	0.000000
0.000000	T(4, 2, 6)	0.000000
0.000000	T(5, 1, 1)	0.000000
0.000000	T(5, 1, 2)	0.000000
0.000000	T(5, 1, 3)	0.000000
0.000000	T(5, 1, 4)	0.000000

0.000000	T(5, 1, 5)	0.000000
0.000000	T(5, 1, 6)	0.000000
0.000000	T(5, 2, 1)	0.000000
0.000000	T(5, 2, 2)	0.000000
0.000000	T(5, 2, 3)	0.000000
0.000000	T(5, 2, 4)	0.000000
0.000000	T(5, 2, 5)	1467.000
0.000000	T(5, 2, 6)	0.000000
0.000000	T(6, 1, 1)	0.000000
0.000000	T(6, 1, 2)	1156.000
0.000000	T(6, 1, 3)	0.000000
0.000000	T(6, 1, 4)	0.000000
0.000000	T(6, 1, 5)	0.000000
0.000000	T(6, 1, 6)	0.000000
0.000000	T(6, 2, 1)	0.000000
0.000000	T(6, 2, 2)	0.000000
0.000000	T(6, 2, 3)	0.000000
0.000000	T(6, 2, 4)	0.000000
0.000000	T(6, 2, 5)	0.000000
0.000000	T(6, 2, 6)	0.000000
0.000000	T(7, 1, 1)	0.000000
0.000000	T(7, 1, 2)	0.000000
0.000000	T(7, 1, 3)	1298.000
0.000000	T(7, 1, 4)	0.000000
0.000000	T(7, 1, 5)	0.000000
0.000000	T(7, 1, 6)	0.000000
0.000000	T(7, 2, 1)	0.000000
0.000000	T(7, 2, 2)	0.000000
0.000000	T(7, 2, 3)	0.000000

0.000000	T(7, 2, 4)	0.000000
0.000000	T(7, 2, 5)	0.000000
0.000000	T(7, 2, 6)	0.000000
0.000000	T(8, 1, 1)	0.000000
0.000000	T(8, 1, 2)	0.000000
0.000000	T(8, 1, 3)	0.000000
0.000000	T(8, 1, 4)	0.000000
0.000000	T(8, 1, 5)	0.000000
0.000000	T(8, 1, 6)	0.000000
0.000000	T(8, 2, 1)	0.000000
0.000000	T(8, 2, 2)	0.000000
0.000000	T(8, 2, 3)	0.000000
0.000000	T(8, 2, 4)	0.000000
0.000000	T(8, 2, 5)	0.000000
0.000000	T(8, 2, 6)	1489.000
0.000000	T(9, 1, 1)	0.000000
0.000000	T(9, 1, 2)	0.000000
0.000000	T(9, 1, 3)	0.000000
0.000000	T(9, 1, 4)	0.000000
0.000000	T(9, 1, 5)	0.000000
0.000000	T(9, 1, 6)	0.000000
0.000000	T(9, 2, 1)	0.000000
0.000000	T(9, 2, 2)	0.000000
0.000000	T(9, 2, 3)	0.000000
0.000000	T(9, 2, 4)	0.000000
0.000000	T(9, 2, 5)	0.000000
0.000000	T(9, 2, 6)	1467.000
0.000000	X(1, 1)	1.000000
0.000000	X(1, 2)	0.000000
0.000000		

0.000000	X(2, 1)	1.000000
0.000000	X(2, 2)	0.000000
0.000000	X(3, 1)	1.000000
0.000000	X(3, 2)	0.000000
0.000000	X(4, 1)	0.000000
0.000000	X(4, 2)	1.000000
0.000000	X(5, 1)	0.000000
0.000000	X(5, 2)	1.000000
0.000000	X(6, 1)	0.000000
0.000000	X(6, 2)	1.000000