



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
AKILLI SİSTEMLER MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**SERU ÜRETİM SİSTEMİNDE HAT-SERU DÖNÜŞÜMÜ VE
ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN MATEMATİKSEL
MODELLENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Melis HALİLOĞLU

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Ahad FURUGİ

SAMSUN
2021

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
AKILLI SİSTEMLER MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI



**SERU ÜRETİM SİSTEMİNDE HAT-SERU DÖNÜŞÜMÜ VE
ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN MATEMATİKSEL
MODELLENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Melis HALİLOĞLU

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ahad FURUGİ

SAMSUN
2021

TEZ KABUL VE ONAYI

Melis HALILOĞLU tarafından, Dr. Öğr. Üyesi Ahad FURUGİ danışmanlığında hazırlanan “Seru Üretim Sisteminde Hat-Seru Dönüşümü ve Çizelgeleme Probleminin Matematiksel Modellenmesi” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 6.7.2021 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği / oy çokluğu ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	İmza	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Birol ELEVLI Ondokuz Mayıs Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
	<hr/>		
Üye (Danışman)	Dr. Öğr. Üyesi Ahad FURUGİ Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yöneylem Araştırması Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
	<hr/>		
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Alper HAMZADAYI Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
	<hr/>		

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

ONAY
... / ... / ...
Prof. Dr. Ali BOLAT
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığımı taahhüt ve beyan ederim.

İmza
06 /07 / 2021
Melis HALİLOĞLU

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : Seru Üretim Sisteminde Hat-Seru Dönüşümü ve Çizelgeleme Probleminin Matematiksel Modellenmesi

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 30.06.2021 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 7

Tek kaynak oranı : % 2 çıkmıştır.

İmza
30 /06 / 2021
Ahad FURUGİ

ÖZET

SERU ÜRETİM SİSTEMİNDE HAT-SERU DÖNÜŞÜMÜ VE ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

Melis HALILOĞLU

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Akıllı Sistemler Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans, Mayıs/2021

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ahad FURUGİ

Günümüz rekabet ortamında işletmeler rekabet gücünü artırmak için müşterilerin çeşitli ve kişiye özel taleplerine hızlı ve yüksek verimlilik ile yanıt vermeleri gerekmektedir. Üretim sistemlerinde verimliliği ve esnekliği artırmak amacıyla Amerikan Ford şirketi tarafından ortaya çıkan seri üretim (montaj hattı), Japonya'daki Toyota firması tarafından geliştirilen Toyota Üretim Sistemi (TÜS) ve grup teknolojisine dayalı Hücresel Üretim Sistemi (HÜS) gibi farklı üretim sistemleri geliştirilmiştir. Ancak, dinamik talepler, ürünlerin kısa yaşam döngüsü ve yüksek çeşitlilik nedeniyle; montaj hattı ve TÜS'de verimlilik düşmektedir. Sony ve Canon gibi Japon şirketleri, pazar taleplerini karşılamak için bir Japon hücresel üretim sistemi geliştirmişlerdir ve geleneksel HÜS'den ayırmak için bu üretim sistemine serü üretim sistemi adını vermişlerdir. Literatürde Serü üretim sistemi ile ilgili az sayıda çalışma yapılmıştır. Özellikle Türkçe literatürde, Serü üretim sistemlerini inceleyen az sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Bu yönüyle çalışmanın literatürdeki bu boşluğu doldurması hedeflenmektedir. Bu tez çalışmasında Serü üretim sistemi ele alınarak bu konuda kapsamlı literatür taramasının yanı sıra montaj hattının Serü üretim sistemine dönüştürme (hat-Serü dönüşümü) ve siparişlerin toplam gecikmelerini minimize eden çizelgeleme problemleri aynı anda matematiksel bir model olarak önerilmiştir. Modelin çözümü için GAMS paket programı kullanılmıştır ve sonuçlar analiz edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Serü üretim sistemi, hat-Serü dönüşümü problemi, çizelgeleme, matematiksel programlama.

ABSTRACT

MATHEMATICAL MODELLING OF LINE-SERU CONVERSION AND SCHEDULING PROBLEM IN SERU PRODUCTION SYSTEM

Melis HALILOĞLU

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Intelligent Systems Engineering

Master, May/2021

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ahad FURUGİ

In today's competitive environment, businesses need to respond quickly and with high efficiency to customers' diverse and personal demands to increase their competitiveness. In order to increase efficiency and flexibility in production systems, different production systems such as mass production (assembly line) asserted by the American Ford company, Toyota Production System (TPS) developed by Toyota in Japan and cellular manufacturing system (CM) based on group technology (GT) have been developed. However, productivity is dropped in the assembly line and Toyota production system due to dynamic demands, products' short life cycle, and high diversity. Japanese companies such as Sony and Canon have developed a Japanese cellular manufacturing system to meet market demands and to distinguish it from the traditional CM, they have called this production system as Seru production system. There have been few studies in the literature on the Seru production system. Especially in the Turkish literature, few studies considered Seru production systems. With this aspect, this study is aimed to fill this gap in the literature. In this study, a comprehensive literature review has been conducted. In addition, a mathematical model is proposed for the conversion of the assembly line to the Seru production system (line-Seru conversion) and scheduling problems that minimize total tardiness. GAMS mathematical modeling IDE is used to solve the model and the results are analyzed.

Keywords: Seru production system, line-Seru conversion problem, scheduling, mathematical programming.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans sürecimin başından itibaren desteğini benden esirgemeyen, danışmanım olmasından onur duyduğum, birlikte çalışma fırsatını bulduğum değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Ahad FURUGİ'ye ve tezimle ilgili değerli yorumları ve tavsiyelerini bildiren jüri üyeleri hocalarım Prof. Dr. Birol ELEVLİ'ye ve Dr. Öğr. Üyesi Alper HAMZADAYI'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Melis HALİLOĞLU

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
TABLolar DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. ÜRETİM SİSTEMİ İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR.....	7
2.1. Siparişe Göre Üretim.....	8
2.2. Parti Üretimi.....	9
2.3. Seri (Akış) Tipi Üretim.....	9
2.4. Proje Tipi Üretim.....	12
2.5. Hücresel Üretim Sistemi.....	12
2.6. Seru Üretim Sistemi.....	14
2.7. Toyota Üretim Sistemi.....	15
2.8. Tam Zamanında Üretim.....	16
2.9. Esnek Üretim Sistemi.....	17
3. SERU ÜRETİM SİSTEMİ.....	18
3.1. Seru Üretim Türleri.....	21
3.1.1. Bölünmüş Seru.....	21
3.1.2. Dönen Seru.....	22
3.1.3. Yatai Seru.....	22
3.2. Seru Üretim Sisteminin Özellikleri.....	23
3.3. Seru Üretim Sisteminin Avantaj ve Dezavantajları.....	24
3.4. Seru Üretim Sisteminin Diğer Üretim Sistemleri İle Kıyaslanması.....	24
3.4.1. Seru Üretim Sisteminin Montaj Hattı İle Kıyaslanması.....	24
3.4.2. Seru Üretim Sisteminin Toyota Üretim Sistemi İle Kıyaslanması.....	25
3.4.3. Seru Üretim Sisteminin Hücresel Üretim İle Kıyaslanması.....	26
3.5. Seru Üretimi İçin Uygulama Çerçevesi.....	27
3.5.1. Ürünlerin Analizi.....	28
3.5.2. Süreç Özellikleri.....	30
3.6. Seru Üretim Sisteminin Tasarımı.....	30
3.6.1. Seru Türlerinin Seçimi.....	30
3.6.2. Malzeme Teslim Yöntemlerinin Belirlenmesi.....	31
3.6.3. İşlem ve Transfer Kurallarının Belirlenmesi.....	31

3.6.4. Üretim Dengeleme	32
3.7. Seru Üretim Sistemlerinde Çapraz Eğitim.....	33
3.8. Seru Üretim Sisteminin Çalışması ve Değerlendirilmesi.....	34
3.9. Seru Üretim Sistemi Uygulama Süreci	35
4. PROBLEM TANIMI.....	37
4.1. Önerilen Matematiksel Model	37
4.2. Uygulama.....	42
4.3. Test problem No 1	45
4.4. Test problem No 2	46
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	49
KAYNAKÇA.....	51

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

i	işçi indeksi ($i=1,2,\dots,W$)
j	Seru indeksi ($j=1,2,\dots,J$)
n	ürün tipi indeksi ($n=1,2,\dots,N$)
m	ürün grubu indeksi ($m=1,2,\dots,M$)
k	bir Seru'daki ürün grup dizisinin indeksi ($k=1,2,\dots,M$)
W	görev sayısı
T_n	montaj hattındaki n . ürün tipinin çevrim süresi
B_m	m . ürün grubunun boyutu
D_m	m . ürün grubunun teslim zamanı
ε_i	i işçisinin bir Seru içinde birden fazla görev yapma düzeyini etkileme katsayısı
η_i	bir Seru'daki çalışan için görev sayısının üst sınırıdır
β_{ni}	i işçisinin n ürün tipinin her bir görevi için beceri düzeyi
v_{mn}	$\begin{cases} 1 & \text{eğer } m \text{ ürün grubunun ürün tipi } n \text{ ise} \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases}$
x_{ij}	$\begin{cases} 1 & \text{eğer } i. \text{ işçi } j. \text{ Seru'ya atanır ise} \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases}$
Z_{mjk}	$\begin{cases} 1 & \text{eğer } m. \text{ ürün grubu } j \text{ Seru'da } k. \text{ sıraya atanır ise} \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases}$
Cw_i	i . işçisinin görev süresi değiştirme katsayısı
TC_m	bir Seru'da m ürün grubun montaj süresi
FC_m	bir Seru'da m . ürün grubun akış süresi
C_m	m . ürün grubunun tamamlanma zamanı
T_m	m . ürün grubunun gecikme süresi
\overline{B}_m	ortalama ürün grubu kapasitesi

Kısaltmalar

TÜS	Toyota Üretim Sistemi
GT	Grup Teknolojisi
HÜS	Hücreli Üretim Sistemi
SÜS	Seru Üretim Sistemi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Üretim Girdi-Çıktısı	7
Şekil 2.2. Üretim Sistemleri Sınıflandırılması	7
Şekil 2.3. Siparişe Göre Üretim	8
Şekil 2.4. Akış Tipi Üretim Örneği	9
Şekil 2.5. Sürekli Seri Proses Düzeni	10
Şekil 2.6. K Makineli Bir Transfer Hattı	11
Şekil 2.7. Montaj Hattı Örneği	11
Şekil 2.8. Proje Tipi Üretim Düzeni	12
Şekil 2.9. HÜS'ün Hacim ve Çeşitlilik Açısından Üretim Sistemindeki Konumu	12
Şekil 2.10. Hüresel Üretim Sistemi	13
Şekil 2.11. Esnek Üretim Sistemi	17
Şekil 3.1. Seru Üretim Sistemine Dönüşüm	18
Şekil 3.2. Bölünmüş Seru	21
Şekil 3.3. Dönen Seru	22
Şekil 3.4. Yatay Seru	23
Şekil 3.5. Seru Üretim Sistemi İçin Genel Bir Uygulama Çerçevesi	28
Şekil 3.6. Ürün-Miktar Analizi (Liu et al., 2014)	29
Şekil 3.7. Seru Üretim Sistemi Uygulama Süreci (Liu et al., 2014)	35
Şekil 4.1. Test problem No 1 için çözüm sonuçları	46
Şekil 4.2. Test Problem No 1 İçin Çizelgeleme	46
Şekil 4.3. Test problem No 2 için Seru oluşumu	48
Şekil 4.4. Test problem No 2 için çizelgeleme	48

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1. Seru üretiminin uygulanmasından sonra Sony ve Canon tarafından elde edilen sonuçlar (Zwierzyński & Ahmad, 2018)	15
Tablo 3.1. Seru Tipleri Karşılaştırması	23
Tablo 3.2. Seru Üretim ve Montaj Hattının Karşılaştırılması	25
Tablo 3.3. Seru Üretimi ile TUS Karşılaştırılması	26
Tablo 3.4. Seru Üretim ile Hücreli Üretim Karşılaştırılması	27
Tablo 4.1. Deney Parametreleri.....	42
Tablo 4.2. İşçilerin bir Seru içinde birden fazla görev yapma düzeyini etkileme katsayısı(ϵ_i)	42
Tablo 4.3. n ürün tipinin her bir görevi için ortalama işçi beceri düzeyi(β_{ni})	42
Tablo 4.4. Her işçinin beceri seviyesinin ayrıntılı verileri(β_{ni}).....	43
Tablo 4.5. Ürün grubu verileri	44
Tablo 4.6. İşçilerin bir Seru içinde birden fazla görev yapma düzeyini etkileme katsayısı(ϵ_i).....	45
Tablo 4.7. İşçilerin ürün tiplerine göre beceri düzeyleri(β_{ni}).....	45
Tablo 4.8. Ürün grubu verileri	45
Tablo 4.9. Test problem No 1 için çözüm sonuçları	45
Tablo 4.10. İşçilerin bir Seru içinde birden fazla görev yapma düzeyini etkileme katsayısı(ϵ_i).....	46
Tablo 4.11. İşçilerin ürün tiplerine göre beceri düzeyleri(β_{ni}).....	47
Tablo 4.12. Ürün grubu verileri	47
Tablo 4.13. Test problem No 2 için çözüm sonuçları	47

1. GİRİŞ

Dünya’da geçmişten günümüze kadar rekabetin artması, teknolojinin hızla gelişmesi, ekonomik, siyasi, sosyal alanlardaki değişimler ve benzeri birçok etken, insanları üretim sistemlerinde değişime itmiştir. Özellikle taleplerdeki artış işletmelerin farklı üretim sistemlerine yönelmesine neden olmuştur. 18. yüzyılda Sanayi Devrimi ile üretim, temel ihtiyaçları karşılamaktan çıkıp stratejik önemi olan bir konuma gelmiştir. Ülkelerin güçlü olma durumları üretim kabiliyetlerine göre şekillenmiştir. 19. yüzyılda ise teknik bilgiye ve analiz yapabilme kültürüne dayalı üretim endüstrileri oluşmuştur. 20. yüzyılda çok sayıda ve tasarımı daha özel olan ürünleri üretebilenler kısa sürede gelişebilme imkânı bulmuştur. Üretimi gerçekleştirebilmek için bazıları geleneksel üretim sistemini kullanırken diğer bazıları ise modern üretim sistemlerini kullanmışlardır. Şu an ise Endüstri 4.0 tabiri kullanılan 4. Sanayi Devrimi’ne geçmekteyiz. İşbirlikçi, zeki, otonom sistemlerinin var olduğu bir üretim sistemleri geliştirilmektedir (Erozan, 2017) . Endüstri 4.0, üretimde daha hızlı çalışabilmek, az israf yapmak, düşük maliyetli ve kaliteli ürünler çıkarmak için birbiriyle iletişimi olan, sensörlerle ortamı algılayabilen robotları kullanarak iletişimin sürekli olduğu ve koordinasyonlu olarak çalışılan bir otomasyon sistemidir (Yıldız, 2018).

Bir işletmede üretimin hangi sisteme göre olacağına karar vermek yöneticinin yetkisindedir. Bu kararları alabilmek için veri toplamak, tahmin yöntemlerini kullanmak, sonuçlar hakkında farklı senaryoları analiz etmek, fabrika hakkında kapsamlı bilgi sahibi olmak gerekir. Kararlar, operasyonel, taktiksel ve stratejik kararlar olmak üzere üçe ayrılır. Stratejik karar, bir amaç belirleyerek o amaca ulaşmak için bir plan oluşturma iken taktiksel karar, anlık çözümlüdür ve kısa sürelidir. Operasyonel karar ise işlemin olduğu yerdedir ve taktiksel seviyedeki kararların uygulanmasıdır (Örnek, 2007).

Üretim sistemleri ilk olarak el ile üretim, daha sonra fordizm (seri/kitleseel üretim), en son post-fordizm (esnek/ yalın) üretim olarak gelişim göstermiştir. El ile üretim, genellikle el işçiliğine yönelik, ürünün tüm aşamalarının bir kişinin yaptığı üretim biçimidir. Fordizm üretim hem insan emeğinin olduğu hem de makinelerin olduğu, ürünün belirli aşamalarda farklı işçilerin var olduğu, bilirkişilerin bulunduğu sistemdir. El ile üretimden farkı; iş bölümünün ve teknik bilginin daha gelişmiş olmasıdır.

Post-fordizm üretim sistemi ise ürünler, makineler veya robotlar tarafından işlenir. İşçiler makineyi kontrol etmek, bakımını sağlamakla yükümlüdür. İşletmeler bu üç üretim tarzından birine sahip olmak zorunda değildir; gerekirse her üç üretim sistemini de barındırabilir (Saklı, 2013).

Üretim sistemlerini ürün çeşidi ve üretim miktarına göre atölye tipi üretim, seri (akış) tipi üretim, proje tipi üretim, Hücresel üretim sistemi ve Seru üretim sistemi olarak sınıflandırmak mümkündür. Ayrıca post-fordizm olan esnek üretim, Toyota üretim sistemi (yalın üretim) ve tam zamanında üretim sistemi günümüze daha yakın olan kalite odaklı üretim sistemleridir.

1990'lı yıllarda Japonya'daki ekonomik krizle birlikte müşteri taleplerinin çeşitlenmesi ile ürün yaşam döngüsünü kısaltmış, hacim ve çeşit sayısında belirsizlikler olmuştur. Toyota Üretim Sistemi, montaj hattı ve Hücresel üretim sistemi gibi yenilikçi üretim sistemleri bu ortamda talebi karşılayamamıştır (Yu & Tang, 2019). Diğer taraftan işgücü maliyetinin artması, Çin ve Güneydoğu Asya'da işgücü maliyeti düşük olan yerlere fabrikaların taşınması Japonya'daki birçok montaj hattının kapanmasına neden olmuştur. Japonlar, montaj hatlarında üretim maliyetlerini düşürüp ve işgücü maliyetinin daha düşük olduğu ülkeler ile rekabet edebilmek için yeni bir üretim sistemi geliştirmeye yönelmişlerdir ve böylelikle yeni bir üretim sistemi ortaya çıkmıştır. Bu yenilikçi üretim sisteminin adını "Seru Üretim Sistemi (SÜS)" vermişlerdir. Seru, Japonca'da "hücre" anlamına gelmektedir. Bu sistem geleneksel montaj hattını mini montaj hatlarına bölerek verimliliği yükseltmeyi amaçlayan bir sistemdir. Genelde elektronik endüstrisinde özellikle Sony, Canon gibi firmalarda başarılı ve etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

Seru üretim sistemi ilk kez 1992 yılında Japonya'da Sony fabrikasında ortaya çıkmıştır (Ying & Tsai, 2017). Sony, üretim tesislerinin birinde kamera montaj hattını, birkaç mini montaj hatta dönüştürerek oluşturduğu her bir mini montaj hattında ürünün tamamını montajlamaya başlamıştır. 1994 yılında, eski bir Sony çalışanı Tatsuyoshi Kon, bu mini montaj hatlara, Japoncada hücresel konfigürasyonu anlamına gelen Seru adı vermiştir. Sony ile başlayan bu yaklaşım Japonya'daki elektronik alanında üretim yapan işletmelerde geniş kapsamlı kullanılmaya başlanmıştır (Kaku, 2017). SÜS ve yönetim mekanizmasının ayrıntılı bir tanıtımı Yin, Kaku, and Stecke (2008) ve Stecke, Yin, Kaku, and Murase (2012) çalışmalarında bulunabilir. Akino (1997) çalışmasında, Seru üretim sistemini bölünmüş Seru, dönen Seru ve yatai Seru olmak üzere üç Seru tipine ayırmıştır.

Schmenner and Swink (1998), Seru ve yalın üretim arasındaki farklar üzerine çalışmıştır. Etkin bir SÜS, iyi eğitilmiş ve çok vasıflı işçilere bağlıdır. Molleman and Slomp (1999), işgücü esnekliğini çalışanların farklı işlerde yetkin olduğu açıdan araştırmıştır. Iwamuro (2004), Seru üretimi için dokuz aşamalı bir uygulama yöntemi önermiştir. Ertay and Ruan (2005) tarafından Seru üretim sisteminde optimum işçi sayısını belirlemek için veri zarflama analizi gerçekleştirilmiştir. Sakazume (2005), Seru sistemlerinin elektronik endüstrisinde başarılı bir şekilde uygulanmasını, piyasa koşulları, ürün ve süreç koşulları açısından analiz etmiştir. Ayrıca, Seru sisteminin sadece elektronik sektörde başarı elde edemeyeceğini, aynı zamanda belirlenen koşullar belli bir seviyeye kadar yerine getirildiği takdirde diğer sektörlerde de başarılı bir şekilde uygulanabileceğini belirtmiştir. Miyake (2006) çalışmasında, Seru üretim sistemini malzeme akış kontrolü, üretim kapasitesi ayarlaması, işçi becerilerinin geliştirilmesi, çalışma ekibinin yetkilendirilmesi, üretim artışı ve ürün özelleştirme yönlerinden araştırmıştır.

Bir montaj hattını Seru üretim sistemine dönüştürme süreci, Hat-Seru dönüşümü problemi adı altında ilk kez Kaku, Gong, Tang, and Yin (2008) tarafından tanıtılmıştır. Hat-Seru dönüşümü problemi, Seru oluşumu ve Seru yüklemesi olarak iki karar verme sürecini içermektedir. Seru oluşumunda, bir montaj hattını saf Seru veya hibrit Seru'ya dönüştürerek hem Seru sayısına hem de işçilerin Serulara atanmasına karar verilmektedir. Seru yükleme problemi ise, ürün gruplarının Serulara atanması ile ilgilidir. Seru oluşumu problemi, NP-zor olan sırasız küme bölme probleminin bir örneğidir (Yu, Tang, Sun, Yin, & Kaku, 2013). Bu nedenle, Seru oluşumu ve Seru yükleme problemlerinden oluşan hat-Seru dönüşümü problemi de NP-zor bir problemidir.

Hat-seru dönüşümü problemi son yıllarda birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir. Literatürde hat-Seru dönüşümü probleminde çoğu çalışmanın amacı maksimum tamamlanma zamanı, toplam çalışma saati, işgücü sayısı, işgücü eğitim maliyeti ve toplam gecikme süresini en aza indirmek olmuştur. Kaku, Gong, Tang, and Yin (2009) çalışmalarında, hat-Seru dönüşümü problemi için maksimum tamamlanma zamanı ve toplam çalışma saatini en aza indiren iki-amaçlı matematiksel model önermişlerdir. Önerilen modelde, kaç Seru'nun oluşturulması gerektiğine, her Seru'ya kaç işçi atanması gerektiğine ve kısaltılmış konveyör hattında kaç işçinin çalışması gerektiğine karar verilmiştir.

Yu, Gong, Tang, Yin, and Kaku (2012), saf Seru sisteminde maksimum tamamlanma zamanı ve toplam çalışma saati üzerindeki etkili faktörleri analiz etmişlerdir. Liu, Li, Lian, and Yin (2012), hat-Seru dönüşümü problemi için toplam üretim süresini ve toplam çalışma saatini en aza indiren iki-amaçlı bir matematiksel model önermişlerdir. Liu et al. (2013) çalışmalarında, eğitim maliyetini minimize eden ve çalışanların işlem sürelerini dengeleyen matematiksel model önermişlerdir. Modeli çözmek için üç aşamalı sezgisel bir algoritma geliştirmişlerdir. Yu et al. (2013) çalışmalarında, aynı anda işçi sayısını azaltmak ve verimliliği artırmak için iki-amaçlı hat-Seru dönüşümü modeli önermişlerdir. Yu, Tang, Gong, Yin, and Kaku (2014), toplam üretim zamanı ve toplam çalışma saatini en aza indiren iki-amaçlı matematiksel model önermişlerdir ve modeli çözmek için baskın olmayan sıralama genetik algoritması II'ye (NSGA-II) dayalı bir algoritma geliştirmişlerdir. Stecke, Yin, and Kaku (2014) kitabında, seru üretim sistemini tanımlayıp diğer üretim sistemleri ile ilişkilendirmeye ve seru üretim sistemi uygulama yapısıyla ilgili bir çerçeve çizmeye çalışmıştır. Liu et al. (2015), karbondioksit emisyonunu ve maksimum tamamlanma zamanını en aza indiren iki-amaçlı matematiksel model geliştirmişlerdir ve modeli çözmek için, NSGA-II 'ye dayalı bir algoritma geliştirmişlerdir. Yu, Wang, Tang, Kaku, and Sun (2016), 10 çizelgeleme kuralının saf Seru üretim sisteminin karmaşıklığı ve performansı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Sun, Li, Huo, Yu, and Ma (2016), hat-Seru dönüşümü problemi için geliştirilen tek ve çift amaçlı matematiksel modellerin özelliklerini incelemişlerdir ve farklı tek amaçlı problemleri çözmek için dört adet algoritma geliştirmişlerdir. Luo, Zhang, and Yin (2016), maksimum tamamlanma zamanını indirmek amacıyla matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Shao, Zhang, and Yin (2016), iki-amaçlı doğrusal olmayan matematiksel model geliştirerek değişken talepler karşısında uygun Seru oluşumu ve maksimum işçi kullanımı üzerine çalışma yapmışlardır. Shao, Zhang, and Yin (2017), tek ürün türü ancak çok sayıda sipariş içeren hat-Seru dönüşümü problemi için toplam akış süresini ve toplam işçilik maliyetini minimize eden çok-amaçlı matematiksel model önermişlerdir. Ying and Tsai (2017), Seru üretim sisteminde toplam eğitim ve işçi atama maliyetinin nasıl en aza indirileceğini araştırmışlardır. Yu, Sun, Tang, Kaku, and Wang (2017), Serular ve kısa bir konveyör hattan oluşan hibrit Seru üretim sisteminde, maksimum tamamlanma zamanının nasıl azaltılacağı üzerinde çalışma yapmışlardır.

Wang and Tang (2018), Seru üretim sisteminde belirsiz talep altında maliyeti en aza indirmek ve sistemin hizmet seviyesini maksimize etmek için çok-amaçlı bir optimizasyon modeli önermişlerdir. NSGA-II algoritması ile örnek ortalama yaklaştırma (Sample Average Approximation) yöntemini birleştirerek problemin çözümü için bir melez algoritma geliştirmişlerdir. Wu, Chan, Niu, and Li (2018) ve Lian, Liu, Li, and Yin (2018), Seru oluşturma kararlarını verirken operatörlerin beceri düzeylerini dikkate almışlardır. Wu et al. (2018) çalışmasında, bölünen ve dönen serular arasındaki işlevsel farklılıkları vurgulamışlardır. Lian et al. (2018), Serular arası ve operatörler arası iş yüklerini optimize etmek için bir model geliştirmişlerdir.

Sun, Wu, Lou, and Yu (2019) ve Sun, Yu, Lou, Wang, and Guan (2019) çalışmalarında, Seru üretim sistemlerinde sırasıyla maksimum tamamlanma zamanını ve toplam gecikmeyi azaltmayı amaçlayan bir problemi ele almışlardır. Her iki problemin çözümü için CCA (Cooperative Coevolution Algorithm) algoritması geliştirmişlerdir.

Türkçe literatüründe Seru Üretim Sistemlerinde yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır. Sarı (2020) kitabında, Seru Üretim Sistemini tanımlayıp diğer üretim sistemleri ile ilişkilendirmeye ve Seru Üretim Sistemi uygulama yapısıyla ilgili bir çerçeve çizmeye çalışmıştır. Yılmaz (2020), Seru Üretim Sisteminde Serular arası işçi transferini dikkate alarak bir işgücü çizelgeleme problemi ele almıştır. Maksimum tamamlanma zamanı en aza indirmek ve çalışanlar arasındaki iş yükü dengesizliğini azaltmak amacıyla iki-amaçlı matematiksel model önermiştir. Problemin NP-zor yapısından dolayı büyük boyutlu problemleri çözmek için NSGA-II algoritması kullanmıştır. Tüzemen (2020) çalışmasında, literatürdeki çalışmalarını irdeleyerek Seru üretim sisteminin doğuşu, anlamı, türleri, yararları ve matematiksel modellemesini tanımlamıştır. Çalışkan, İşleyen, and Çerçioğlu (2021) çalışmalarında, Seru yükleme problemini ele alarak belirli bir Seru tasarımına yönelik optimal işçi ve iş yükleme planını verecek bir matematiksel model önermişlerdir. Ayrıca problemin NP-zor sınıfta yer aldığından, kabul edilebilir zaman içerisinde problemin çözümü için, açgözlü bir mat-sezgisel algoritma geliştirmişlerdir.

Önceki çalışmalara ilişkin kapsamlı literatür araştırmasında, Seru üretim sisteminde gecikmeyi en aza indirmeye odaklanan yalnızca Sun, Yu, et al. (2019) çalışmasının olduğu görülmüştür.

Ancak, günümüz rekabet koşullarında işletmelerin müşteri taleplerini zamanında karşılamaları zorunluluğundan dolayı siparişlerdeki gecikme önemli bir performans göstergesidir. Literatürdeki bu alanda oluşan araştırma boşluğu bu çalışmanın motivasyon kaynağını oluşturmuştur. Sun, Yu, et al. (2019) çalışmasında, ilk olarak hat-Seru dönüşümü için model kurulup çözülmüştür. Daha sonra Seru çizelgelemesi için ayrı bir model kurulup analiz edilmiştir. Bu çalışmada farklı olarak, hat-Seru dönüşümü ve Seru çizelgeleme problemleri birlikte ele alınarak, yeni bir matematiksel model önerilmiştir. Modelin çözümü için GAMS paket programı kullanılarak küçük boyutlu problemler çözülmüş ve sonuçlar analiz edilmiştir.

Bu tezin ikinci bölümünde, üretim sistemleri sınıflandırılmış ve üretim sistemleri hakkında temel bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde Seru üretim sistemi hakkında detaylı bilgi verilmiş ve diğer üretim sistemleri ile karşılaştırılmıştır. Dördüncü bölümde Seru oluşturma problemi tanımlanarak problem için karma tamsayılı matematiksel model önerilmiştir. Ayrıca küçük boyutlu problemler için modelin çözümü verilmiştir. Son bölümde ise, araştırma sonuçlarının genel bir değerlendirmesi ve ileride yapılabilecek çalışmalar için öneriler yer almaktadır.

2. ÜRETİM SİSTEMİ İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR

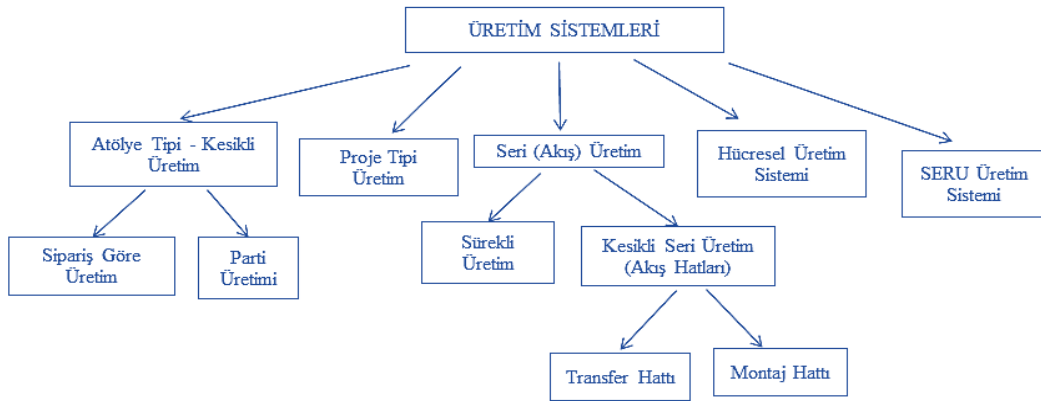
Üretim, insanların ihtiyaçlarını karşılayabilmek için sermaye, hammadde, işgücü, makineler, bilgi ve enerji gibi etmenleri girdi olarak kullanılarak ürün veya hizmete dönüştürme faaliyetidir (Şekil 2.1). Üretimde amaç; elde edilmek istenen ürünün istenilen kalitede, istenilen yerde ve istenilen zamanda oluşmasını sağlamaktır (Ünsar, 2007).



Şekil 2.1. Üretim Girdi-Çıktısı

Bir üretim sistemi, ürün, bilgi ve hizmet üretmek için makine, insan, malzeme, veri ve kullanılacak aletlerin düzenlenmesi ve çalıştırılmasıdır. Amaç; müşteri isteklerine göre üretim yapmak; yaparken de uygun kaynakları kullanarak müşteri memnuniyetini sağlamaktır.

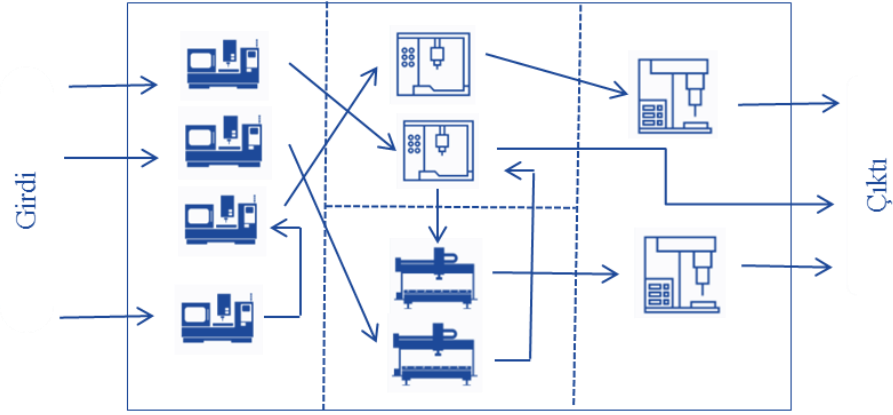
Üretim sistemleri ürün çeşidi ve üretim miktarına göre; atölye tipi üretim, seri (akış) tipi üretim, proje tipi üretim, hücreli üretim sistemi ve Seru üretim sistemi olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 2.2). Atölye tipi üretim, siparişe göre üretim ile parti tipi üretim olarak da tanımlanmaktadır. Post-fordizm olan esnek üretim, Toyota üretim sistemi (yalın üretim) ve tam zamanında üretim sistemi günümüze daha yakın olan kalite odaklı üretim sistemleridir.



Şekil 2.2. Üretim Sistemleri Sınıflandırılması

2.1. Siparişe Göre Üretim

Siparişe göre üretimde, az sayıda ürünün belirli veya belirsiz aralıklarla üretilmesi söz konusudur. Müşteriler tarafından belirlenen miktar, kalite ve çeşitte ürünlerin üretildiği üretim sistemleridir. Geniş ürün yelpazesine sahip olan bu üretim sistemlerinde, değişik işlemleri yapabilecek özelliklerde makineler kullanılır.



Şekil 2.3. Siparişe Göre Üretim

Üretim makineleri, Şekil 2.3'te gösterildiği gibi genel üretim süreçlerine göre gruplandırılır. Örneğin; torna tezgahları bir bölümde, matkap presleri başka bir bölümde olabilir. Her farklı parça kendi işlem sırasını gerektiren, uygun sırayla çeşitli departmanlara yönlendirilebilir. Bu üretim sistemlerinde sürece göre yerleşim söz konudur.

Siparişe göre üretimin avantajları:

- Üretim esnekliği ve yeni ürünlerin üretime alınma hızı oldukça yüksektir.
- Çeşitli işleme gereksinimlerini karşılayabilir.
- Ekipman arızasına karşı esnektir.
- Kullanılan ekipman daha az maliyetlidir.

Dezavantajları ise:

- Kapasite kullanım oranı düşüktür.
- Planlama faaliyetleri zordur.
- Çeşitlilik çok fazla olduğu için büyük miktarda stoklar bulundurulur.
- Ürünleri oluşturan parçaların farklı bölümlerde işlenmesinden dolayı taşıma mesafesi genellikle uzundur.

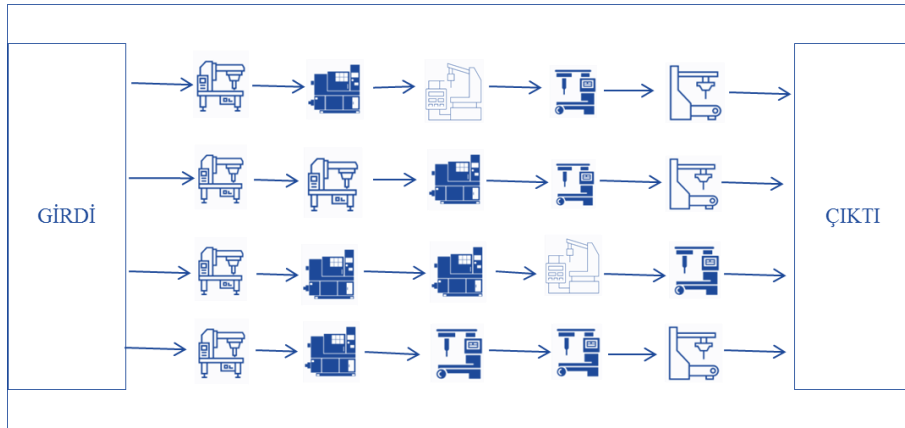
Bir otomobil yedek parçası imalatı yapan işletme, plastik endüstrileri örnek verilebilir.

2.2. Parti Üretimi

Parti tipi üretim, benzer veya aynı türden ürünlerin birbirini izleyen partiler halinde üretildiği ve her partide farklı bir ürün üretiminin gerçekleştirildiği üretim şeklidir. Parti üretimine göre bir partinin üretimi tamamlandıktan sonra, üretim sistemi diğer partinin üretimi için yeniden düzenlenir. Bu üretimde, bir partinin üretimi tamamlanmadan, diğerinin üretimine geçilmez. Parti tipi üretimde, siparişe göre üretime kıyasla ürün çeşitliliği ve işlem tekrarının yüksek olmasından dolayı üretim maliyetleri daha düşüktür. Konfeksiyon malları üreten işletmeler parti tipi üretime örnek verilebilir.

2.3. Seri (Akış) Tipi Üretim

Seri üretim, yüksek miktar fakat; düşük seviye çeşitlilik gösteren birimler için uygulanan üretim şeklidir. Seri üretimin ana özelliği, ürün akışının olması (ürünün hareket halinde olması) ve tesislerin üretilecek ürüne göre tasarlanmasıdır. Seri üretimde, sistemin başlangıç noktasından başlayan hammadde, yarı mamul ve parça gibi girdiler, işlem birimlerinden geçmekte ve son ürün haline dönüşerek sistemden çıkmaktadırlar. Seri (akış tipi) üretimde ürünler çok sayıda ve hızlı bir şekilde üretilirler.



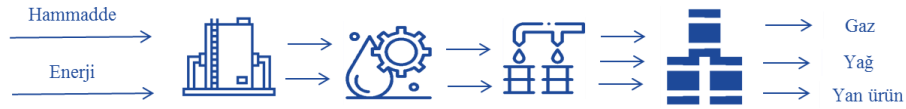
Şekil 2.4. Akış Tipi Üretim Örneği

Makine ve teçhizatlar hem genel amaçlı hem de özel amaçlıdır ve Şekil 2.4'te gösterildiği gibi ihtiyaç duyulan işlem sırasına göre sıraya yerleştirilir. Akış tipinin bu özelliği ürün tamamlanma süresini kısaltır, aynı zamanda kapasite kullanım hacmini yükseltir.

Seri (akış) üretimde işlem tekrarının yüksek olması sebebiyle, uzmanlaşma ve kalite seviyesi yüksek, üretim maliyetleri düşüktür. Nitelikli çalışana ihtiyaç yoktur. Düşük malzeme taşıma maliyetine sahiptir. Seri (akış) tipi üretim sistemin avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajları aşağıdaki gibidir (Özçelik, 2017):

- Ürün değişimi söz konusu olduğunda yerleşim düzenin değişmesi gerekir. Bu da maliyete ve zaman kaybına neden olur.
- Akış hattı darboğaza bağlı hareket ettiği için üretimde hat dengelenmesi problemi ortaya çıkar. Beklenmedik bir durum söz konusu olduğunda hat yavaşlar veya durma noktasına gelir.
- Ürün çeşidine göre farklı hat oluşturmak yatırım maliyetinin yüksek olmasına neden olur.
- Akış tipinin esnek olmaması gelişen teknolojiye karşı geç karşılık vermesine neden olur. Bu da rakip firmaların önüne geçmesine sebep olur.

Seri üretim, sürekli seri (akış süreçli) ve kesikli seri (akış hatlı) olmak üzere ikiye ayrılır. Sürekli seri üretimde ürün çeşidi az, üretim hacmi büyük, siparişi düzenlidir. Sipariş oranı yüksek olduğu için sürekli bir üretim vardır. Üretilen ürünler stokta tutulur. Müşteri siparişleri stoktan karşılanır. Verimlilik yüksek, işgücü ihtiyacı düşüktür (Tanyaş & Baskak, 2003).



Şekil 2.5. Sürekli Seri Proses Düzeni

Şekil 2.5'te sürekli seri üretimde işlenen hammadde ve ürünler doğal yapıları itibariyle kendiliğinden akarlar. Ham petrolün işleme tabi tutularak yan ürünlerin oluşması, zeytinyağı, çimento, boya, deterjan bu üretim tipine örnek verilebilir (Sever, 2004).

Kesikli seri üretim de aynı temel prensip üzerine gelişmiştir. Karmaşık birimler akış kuralı kullanılarak büyük miktarlarda özel akış sistemlerinin tasarımı ile üretilmektedirler. Örneğin, beyaz eşya, motorlu taşıtlar, motor silindir blokları vb.

Kesikli seri üretimde müşteri talepleri yüksek olup sürekliliğin önemli olduğu bir sistemdir. Ürünün tasarımı, hat dengesi, iş istasyonlarının uygun bir biçimde işçilere görevlendirilmesi akış hatlarının sorunsuz işlenmesi için önemlidir. Aynı zamanda bu sistemde düzenli bir şekilde bakım yapılması gerekir (Karaca, 1996).

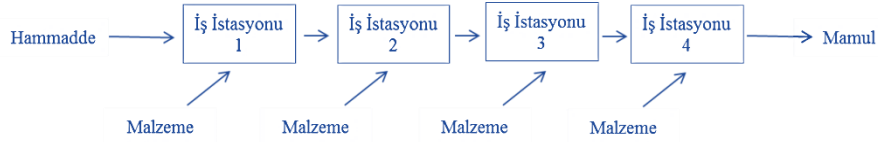
Kesikli seri üretim, transfer hattı ve montaj hattı olarak ikiye ayrılmaktadır. Transfer hatları, birbirlerine otomatik taşıma araçları ile bağlanmış büyük ve karmaşık makinelerden meydana gelirler.



Şekil 2.6. K Makineli Bir Transfer Hattı

Şekil 2.6’da ürünler, bu makineler arasında otomatik malzeme taşıma sistemi aracılığıyla hareket ettirilerek işlemleri tamamlanır. Transfer hatlarında tek bir ürün üretilebileceği gibi, farklı ürünlerin partiler halinde üretimi de yapılabilir.

Montaj hatları, ürüne göre yerleşimin özel bir şeklidir. Bu düzenleme işleminde amaç, üretim hattında yapılmakta olan işlerde zaman kaybını ortadan kaldırmak ya da asgari seviyeye indirmektir.



Şekil 2.7. Montaj Hattı Örneği

Şekil 2.7’de bir montaj hattı örneği görülmektedir. Genellikle seri üretim tipine sahip sistemlerde uygulanır.

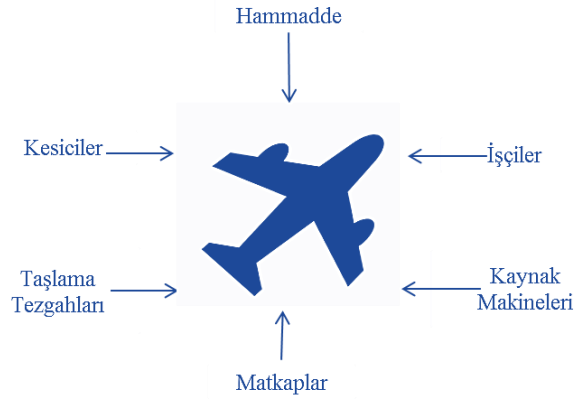
Montaj hattının temel amacı; bir ürünü oluşturan parçaların birleştirip bitmiş ürün ortaya çıkarmaktır. Diğer amaçları (Özkıran & Düşünür, 2011):

- Boş zamanı minimize etmek,
- Çevrim süresini en düşük süreye düşürmek,
- Oluşabilecek boş zamanları hatta dengeli bir şekilde dağıtmak,
- Malzeme akışını düzenli hale getirmek,
- İş istasyonunu en az sayıya indirmek,
- Üretim maliyetini minimize etmek,
- İşgücünü ve kapasiteyi optimum kullanmaktır.

Montaj hattı genelde otomotiv, elektronik, tekstil, beyaz eşya gibi üretim endüstrilerinde kullanılabilir.

2.4. Proje Tipi Üretim

Proje tipi üretim, üretim esnasında, ürünün süreçler arasında hareketi söz konusu olmayıp, üretim için gerekli olan kaynakların üretimin gerçekleştirildiği yere getirilir ve bu girdi kaynaklarının sürekli hareketi söz konusudur. Başka bir ifadeyle, yerinde üretim yapılır. Bu tip üretim, esneklik ve yenilikler açısından büyük avantaj sağlamasına rağmen, üretim maliyetleri oldukça yüksektir. Uçak üretimi ve gemi yapımı proje üretimine örnek olarak verilebilir.

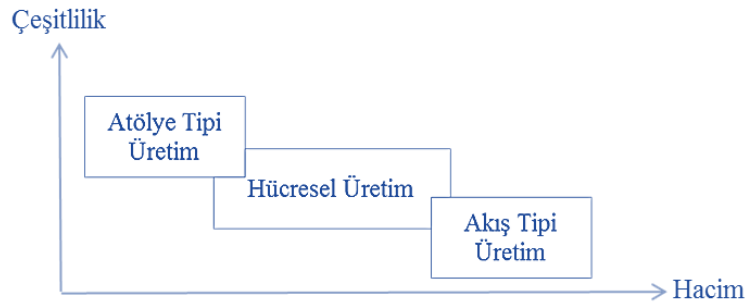


Şekil 2.8. Proje Tipi Üretim Düzeni

Şekil 2.8’de belirli bir ürünün sadece bir kez üretilmesi için işgücü, makinelerin vb. girdilerin bir araya getirildiği üretim sistemi düzeni görülmektedir.

2.5. Hücreyel Üretim Sistemi

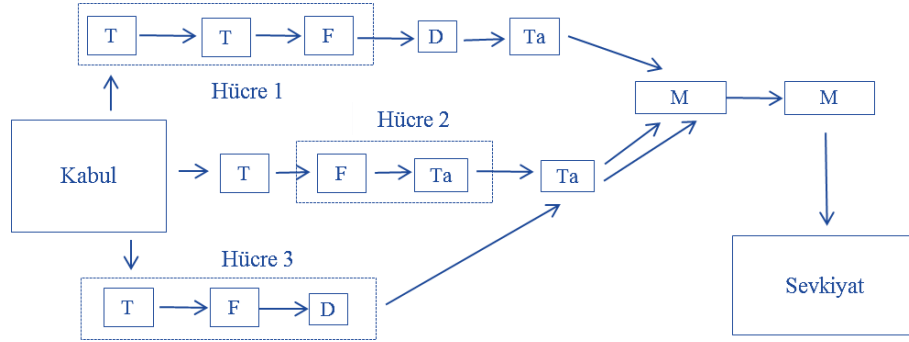
Hücreyel üretim sistemi, atölye tipi ile akış tipinin bir karması olup ürün-parça ailesinin benzerliklerinden yola çıkılarak makinelere atamaların yapıldığı sistemdir.



Şekil 2.9. HÜS’ün Hacim ve Çeşitlilik Açısından Üretim Sistemindeki Konumu

Şekil 2.9’da görüldüğü üzere Hücresel üretim, akış tipi üretim hacmi ve atölye tipi üretimdeki esnekliği sağlayacak ortamı oluşturur ve üretim hacmi ve ürün çeşitliliği açısından atölye tipi ve akış tipi üretim sistemlerinin ortasında yer alır.

Hücresel üretim sisteminde parçaların tasarım ve işlem sırasını analiz ederek parça aileleri oluşturulur ve bu parça ailelerine atanacak makineler seçilir. Makine gruplarından oluşan hücrelerde üretim yapılır. Operasyon sayısının azalması, makine kullanım oranının artması, kalitenin yükselmesi hücresel üretimin getirdiği faydalardan bazılarıdır (Kamrani, Parsaei, & Leep, 1995). Hücresel üretim sisteminin amacı; parça çeşidinin ve üretim hacminin orta seviyede olduğu ürünleri verimi yüksek bir şekilde üretme, parça ailelerini işlerken hazırlık, bekleme, taşıma zamanlarını ve ara stoklarını düşürerek müşteri taleplerini kısa sürede karşılamaktır (Sezgin, 2001).



Şekil 2.10. Hücresel Üretim Sistemi

Hücresel üretim sistemi örneği Şekil 2.10’da verilmiştir. Hücresel üretim ile diğer üretim sistemleri ile farkları aşağıdaki gibidir (Kazan & Günlük, 2006; Tanyaş & Baskak, 2003):

- Diğer üretim sistemleri genel amaçlı tezgâh kullanırken hücresel üretimde benzer parça veya parça ailesinin işlendiği tezgahlar kullanılır. Bu sayede hücresel üretimin hazırlık süreleri azalır.
- Hücresel üretim sistemi diğer üretim sistemine göre daha dinamik ve esnekler.
- Diğer üretim sistemleri daha uzun sürede, daha çok elemana ve daha çok makineye ihtiyaç duyarak ürünü oluşturur.

Hücresel üretim sisteminin avantajları olduğu kadar dezavantajları da mevcuttur. Bunlar (Gökşen & Erdem, 2003; Öztürk, 2013):

- Müşterilerin talebine bağlı olarak oluşturulan hücreleri sürekli değiştirilmesi,
- İşçilerin sistem hakkında bilgi edinmesinin zaman alması ve alışlagelmiş düzenden çıkıp yeni düzene karşı koyma durumları,
- Makinelerin yerleşim düzenine göre hücrelerin duyarlı olmasından ötürü bakımların yeterli olmaması,
- Yerleşim alanın yeniden düzenlenmesiyle beraber ek maliyetlerin ortaya çıkması,
- Esnek üretimin her zaman var olmaması,
- Hücrelerde bulunmayan elemanların olmaması ve makine sayılarında çoğalma nedeniyle makine kullanımının tam kapasite de kullanılamaması olarak gösterilebilir.

2.6. Seru Üretim Sistemi

Seru Üretim Sistemi, bir veya daha fazla ürüne hizmet eden, bir veya daha fazla işçi ve ekipmandan oluşan üretim organizasyonu (çoğu durumda bir montaj birimi) olarak tanımlanmaktadır (Singh, 2017). ‘‘Seru’’ kelimesi Japonca anlamdadır ve ‘‘hücresel konfigürasyon’’ anlamına gelmektedir.

SÜS genel olarak iki türe ayrılmaktadır:

- 1) Sadece bir veya birkaç Seru’dan oluşan ‘‘saf Seru’’ üretim sistemi,
- 2) Bir veya birkaç Seru ve kısa bir konveyör hattan oluşan ‘‘hibrit Seru’’ üretim sistemidir.

Geçtiğimiz yirmi yıl içinde, birkaç Japon şirketi konveyör hatlarını değiştirerek Seru üretim sistemine geçmişlerdir. Bu şirketlerin çoğu bu değişim ile önemli başarılar elde etmişlerdir. Bu şirketlere örnek olarak Canon, Sony, Panasonic (Matsushita), Fujitsu, NEC ve Hitachi verilebilir. Seru üretim sisteminin en başarılı uygulaması Canon ve Sony tarafından yapılmıştır. Bu sistem sayesinde, Canon ve Sony sırasıyla 720.000 ve 710.000 metrekare üretim alanından tasarruf etmişlerdir. Canon’un maliyetleri 2003 yılında 55 milyar yen ve 1998’den 2003’e kadar toplam 230 milyar yen azalmıştır (Stecke et al., 2014; Yin et al., 2008). Seru üretiminin uygulanmasından sonra Sony ve Canon tarafından elde edilen sonuçlar Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Seru üretiminin uygulanmasından sonra Sony ve Canon tarafından elde edilen sonuçlar (Zwierzyński & Ahmad, 2018)

SONY	CANON
Verimlilik artmıştır,	Verimlilik artmıştır,
İstihdam%25 azalmıştır,	İstihdam%25 azalmıştır,
Montaj hatlarının uzunluğu 35000 m azalmıştır.	Montaj hatlarının uzunluğu 20000 m azalmıştır,
Ürün kalitesi artmıştır.	720 000 metrekare üretim alanı tasarruf edilmiştir,
710 000 metrekare üretim alanı tasarruf edilmiştir.	Maliyetler 230 milyar yen azalmıştır,
	Sipariş karşılama süresi %30 azalmıştır.

Seru üretim sistemi, bu çalışmanın konusu olduğundan üçüncü bölümde, daha detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

2.7. Toyota Üretim Sistemi

1950’li yılların Japonya’sında Toyota firması mühendisleri Taiichi Ohno, Shigeo Shingo ve Eiji Toyota’nın öncülüğünde batıdaki üretim yöntemi anlayışlarından oldukça farklı bir sistem olarak doğmuştur. Toyota Üretim Sistemi diğer adı yalın üretim olarak tanımlanmaktadır. Yalın üretimin en temel ilkesi, israfı en aza indirirken, esnek ve mükemmel iş akışına ulaşmak ve doğru şeyleri, doğru yerde, doğru zamanda, doğru miktarda yapmaktır.

Toyota üretim sisteminde operasyonel düzeydeki üretimde israfları minimize ederek müşteri isteklerine en kısa sürede cevap verme amaçlanır. Bu üretim sisteminde sürekli iyileştirme felsefesi mevcuttur (Çilhoroz & Arslan, 2018). Üretim sistemlerinde yüksek performans sağlamak ve sürekli olması için beş temel prensip oluşturulmuştur. Bunlar, çekme üretimi, değer yaratma, mükemmeliyetçi olma, akışı tanımlama ve kesintisiz akıştır (Demirkol, 2020).

Toyota üretim sistemini en çok israfı yok etmek üzerine ilişkilendirilmektedir. Bu israflara örnek olarak (Tekin, Arslan, Etlioğlu, & Tekin, 2018);

- Gereksiz hareket,
- Stok,
- Fazla üretim,
- Bekleme,
- Taşıma,
- Fazla süreçler,
- Hatalı üretim gösterilebilir.

Toyota üretim sistemi, günümüzde hala etkin olarak kullanılan modern bir üretim sistemidir.

2.8. Tam Zamanında Üretim

Tam zamanında üretim, müşteri isteklerine en hızlı şekilde cevap vermeye çalışan bir modern üretim sistemidir. Bu sistem 1970'li yıllarda Eiji Toyoda ve Taiichi Ohno tarafından geliştirilmiştir (Sert & Kesen, 2019). Tam zamanında üretimde temel hedef; stokları minimum tutarak stok maliyetini azaltmak ve israfi önlemektir. Üretime sipariş alındığı takdirde başlayan, üretim için gerekli malzemeler işlem başlayacağı zaman alınan, malzemeler gerekli olduğunda sonraki aşamaya aktarılan ve üretim bittiği gibi ürünün satıldığı bir düzen mevcuttur. Bu düzen; stok biriktirmeden, akıcı bir hammadde tedariki-üretim-satış ilişkisi oluşturur (Güç, 2019).

Tam zamanında üretimin amaçları aşağıdaki gibidir (Kanat & Güner, 2006):

- Hammadde tedarikçisi ile güvenilir ilişki geliştirme,
- Yüksek kalite ve yüksek üretim sistemi tasarımı,
- Minimum maliyet,
- Müşterilerin isteklerini hızlı ve zamanında karşılamak,
- Üretimin kaynak kullanımını azaltmak,
- Toplam üretim sistemini geliştirmektir.

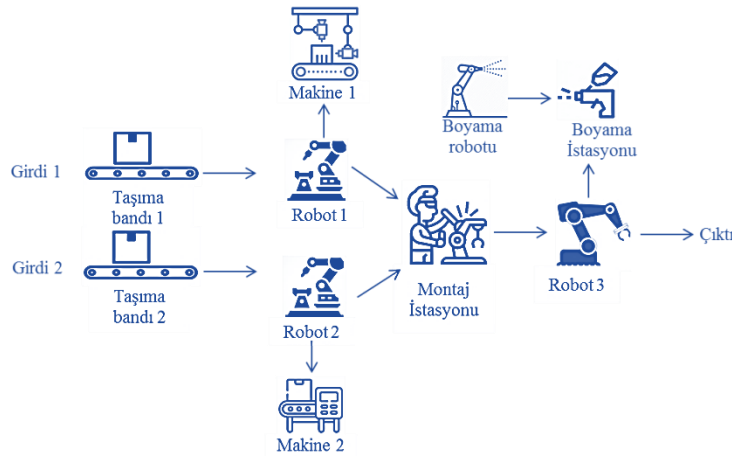
Tam zamanında üretimde mevcut koşullar kabullenilmez, o koşulları iyileştirilmeye yönelik tutum sergilenir. Bu koşulları iyileştirmek beş aşamada yapılabilir (Baykoç, Abacı, & Duyar, 2002):

- Fabrikanın yerleşimini mamuller ve ekipman kullanımı optimum olacak şekilde düzenlemek,
- Üretimde esneklik sağlayarak ürünlerin hazırlık sürelerini minimize etmek,
- Üretimde düzenli bakım ve onarım yaparak oluşabilecek problemleri minimum düzeye indirmek,
- Ürünlerin proses akışını düzenlemek ve operasyonların çevrim zamanlarını dengelemek,
- Sistem otomasyonunu sağlamaktır.

Tam zamanında üretimde hataların azaltılması ve sipariş teslim sürelerinin kısaltılması özelliği ile işletmelerde istenilen şekilde üretim yapılmasını sağlar (Vargün, 2009).

2.9. Esnek Üretim Sistemi

Esnek Üretim Sistemi, bilgisayar kontrollü otomatik malzeme taşıma cihazlarından ve çeşitli parça türlerinin orta büyüklükteki hacimlerini eş zamanlı olarak işleyebilen, sayısal olarak kontrol edilen takım tezgâhlardan oluşan bütünleşmiş bir üretim sistemidir. Esnek üretim sisteminin ortaya çıkış amacı; imalathaneyi verimsiz kullanma, ara stokların fazla olması, üretimin uzun sürmesi ve makine kullanımının düşük olması gibi problemlerin ortadan kaldırmasına yönelik çalışmalardır. Akış tipi üretimdeki etkinliği ve atölye tipi üretimdeki esnekliği birleştirmiştir (Çoruh, 2010). Bu üretim sisteminde, teknolojisinin gelişmesi ve hızla değişime uğramasından kaynaklı bilgisayar kontrollü sistemler ile makine teçhizatları ve malzeme taşıma bilgileri kontrol edilir (Gönen & Çelik, 2004). Esnek Üretim Sistemleri, ürün çeşidinin fazla olduğu, miktarının orta büyüklükte olduğu zaman kullanılır.

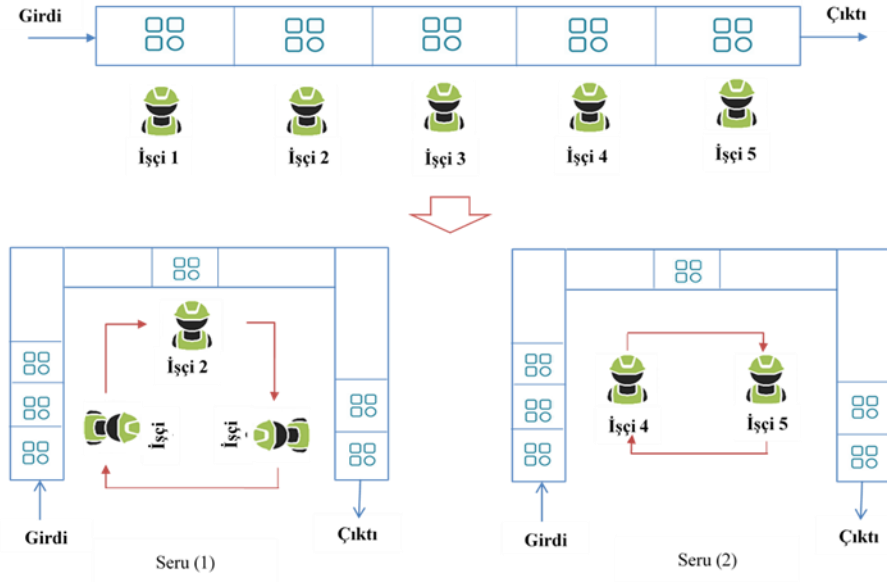


Şekil 2.11. Esnek Üretim Sistemi

Şekil 2.11'de Esnek Üretim Sistemi örneği verilmiştir. Esnek modüler, bilgisayar destekli tezgâhların, diğer donanmlarla beraber değişik yöntemlerle işlenebilmesini sağlamaktadır.

3. SERU ÜRETİM SİSTEMİ

1990'lı yıllarda Japonya'daki ekonomik krizle birlikte müşteri taleplerinin çeşitlenmesi ile ürün yaşam döngüsü kısalmış, ürün hacmi ve çeşit sayısında belirsizlikler olmuştur. Bu ortamda Toyota üretim sistemi, montaj hattı ve hücresel üretim sistemi gibi yenilikçi üretim sistemleri, talebi karşılayamamıştır (Yu & Tang, 2019). Diğer taraftan işgücü maliyetinin artması ve fabrikaların Çin ve Güneydoğu Asya'da işgücü maliyeti düşük olan ülkelere taşınması Japonya'daki birçok montaj hattının kapanmasına neden olmuştur. Ancak, Japonya'da istifa etmeden işten çıkarmama kültürü nedeniyle dinamik talepleri karşılamak ve işçilere yeni iş imkânı sunmaya çalışılmıştır. Böylelikle Japonlar yeni bir üretim sistemi geliştirmeye yönelerek yenilikçi bir üretim sistemi ortaya çıkarmışlardır ve bu yenilikçi üretim sistemin adına "Seru Üretim Sistemi" vermişlerdir. Bu sistem geleneksel montaj hattı mini montaj hatlarına bölerek verimliliği yükseltmeyi amaçlayan bir sistemdir ve genelde elektronik endüstrisinde başarılı ve etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Şekil 3.1'de örnek bir hat-Seru dönüşümü gösterilmektedir. Geleneksel montaj hatları SÜS'e dönüştürüldükten sonra Serulara uygun işçiler ve ürün grupları atanmaktadır.



Şekil 3.1. Seru Üretim Sistemine Dönüşüm

Japonya'da ortaya çıkan Seru üretiminin nedenleri şu şekilde özetlenebilir (Liu, Lian, Yin, & Li, 2010):

a) Endüstriyel ve ekonomik şartlar

1990'larda "ekonomik balonun" patlamasından önce, Japonya'daki imalat endüstrileri bir fabrikayı otomasyon sistemine adapte etmek için büyük çaba sarf ederek büyük ölçekli otomasyon sistemleri elde etmişlerdir. Montaj hatları, robotlar ve diğer ileri teknolojik ekipmanlar genel olarak uygulandı. Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu (UNECE) ve Uluslararası Robotik Federasyonu'na (IFR) göre, Japonya'daki çok amaçlı endüstriyel robotların stoku 1997'de 413.000 adetle zirveye ulaştı. 1991'deki "ekonomik balon" patlamasının ardından borsa ve gayrimenkulde keskin düşüş ile Japonya yaklaşık on yıllık bir ekonomik durgunluk yaşadı. Otomasyonun genişlemesi 1990'larda durduruldu. Çünkü üretim yatırımcıları ekonomik durgunluk sırasında otomasyon için gereken sermaye yatırımını yapamıyordu. Ayrıca, yöneticiler, yüksek maliyetli otomasyonun, istikrarsız müşteri talebi nedeniyle her zaman beklendiği gibi sağlam bir etki yaratamayacağını fark etti. Bu nedenle, düşük maliyetli ancak yüksek verimli sistemlere duyulan gereksinim, Japon imalat işletmelerini yüksek verimli montaj hatlarını sökmeye ve üretim yönetimlerinde yenilikler yapmaya sevk etti.

b) Talebin yüksek çeşitlilik ve düşük hacme dönüşmesi

Talep değişiklikleri iki açıdan incelemek mümkündür: ürün çeşitliliği ve ürün hacmi. Ürün çeşitliliği açısından, çeşitlendirilmiş ve kişiselleştirilmiş talep ve kısa ürün yaşam döngüsü yüksek ürün çeşitliliğine yol açmaktadır. Ayrıca müşteri talebindeki dalgalanmalar ürün hacmini olumsuz etkilemektedir. Montaj hattının verimliliği, değişken ve dalgalanan taleplerle karşılaştığında önemli ölçüde azalmaktadır. Bu nedenle, yüksek esneklik peşinde koşan imalat kuruluşları verimli ancak daha az esnek montaj hatlarını, alternatif bir sistemle değiştirmeleri gerekmektedir.

c) Montaj hattının düşük esnekliği

Montaj hattı, yüksek verimliliği nedeniyle seri üretim sistemlerinin son montaj süreçlerinde kullanılmaktadır. Yüksek verimlilik, üstün ürün kalitesi, düşük ürün maliyeti ve düşük vasıflı işçiler tarafından düşük işçilik maliyeti montaj hattının avantajlarından sayılabilir. Bununla birlikte, montaj hattının dezavantajları çoğu imalat işletmesinin yöneticileri tarafından genellikle gözden kaçırılmıştır (Johnson, 2005). Montaj hattının en büyük dezavantajı, esneklik eksikliğinden kaynaklanıyor. Hemen hemen her montaj hattı, bir veya birkaç spesifik ürün tipi için tasarlanmıştır.

Bu nedenle ürün tipi değiştiğinde hattı yeniden yapılandırmak için önlemler alınmalıdır. Ayrıca, dalgalanan talep hacmine karşı yüksek performans elde etmek için hattın ayarlanması şarttır.

d) Uluslararası pazarda şiddetli rekabet

Küreselleşme, ülkeler arasında şiddetli rekabete neden olan birçok fırsat ortaya çıkarmıştır. Sanayi yapısı açısından bakıldığında, küreselleşmenin Japon sanayileri üzerinde getirdiği rekabet baskısı Çin ve Kore gibi Doğu Asya ülkelerinden kaynaklandı. Bu ülkelerde üretilen düşük kaliteli/orta seviye elektronik ürünler, Japon elektronik ürünlerinin uluslararası pazardaki rekabet gücünü büyük ölçüde zayıflattı (Powell, 2002, 4 March). Diğer Doğu Asya ülkelerinden gelen büyük zorluklarla yüzleşen birçok Japon imalat endüstrisi ve özellikle elektronik endüstrisi, yurtdışında fabrikalar kurarak veya üretim sistemlerini yenileyerek maliyetleri düşürmek için bir savaş başlattı (Jiang & Willette, 2004).

e) Kurumsal kültür ve iş durumundan kaynaklanan düşük çalışan morali

Çeşitli imalat işletmelerinin yöneticileri genellikle çalışanların psikolojik faktörlerini görmezden gelir. Montaj hattındaki yüksek uzmanlık ve sıkı çalışma süresi, monoton bir çalışma ortamı yaratır. Böyle bir durumda, uzun vadede işçi toleransı ve coşkusu azalır. Birçok işletme, çalışanların işe katılımının ve örgütsel bağlılığın önemini fark etmiştir (Edralin, 2008). İnsan odaklı bir çalışma ortamının tasarımı gereksinimi böylece ortaya çıkmaya başlamıştır.

Kuşkusuz, Japon işçilerin çoğu işlerine sadıktır ve işleri kariyerleri olarak görürler. Bununla birlikte, Japon işletmelerinin kültürünün de bir dereceye kadar düşük çalışan moraline yol açtığını kabul etmeliyiz. Birincisi, geleneksel ödeme sisteminde, çalışanlara performanstan çok kıdeme göre ödeme yapılmaktadır. Ücretlendirme, iş performansı ile değil; işletmedeki çalışma deneyiminin uzunluğu ile ölçülür. Bu, bazı çalışanlar için rekabet duygusu kaybına neden olur. İkincisi, ise daimi istihdamdır. Japon işletmelerinin çoğunda istihdam sisteminin ayırt edici bir özelliğidir. Buna göre, uyumsuz insanlar çok çalışmayabilir ve bu da tüm işletmede düşük çalışan moraline neden olur (Sakamaki, 2006).

Çalışanların işlere karşı arzusunu tatmin etmek için, çok sayıda Japon imalat işletmesi, çalışma koşullarını ve işletme kültürünü iyileştirmek için daha fazla çaba göstermeye başladı. Bu reform, montaj hattının ötesinde yeni üretim sistemini keşfetme sürecini hızlandırdı.

f) Toyota Üretim Sisteminin Sınırları

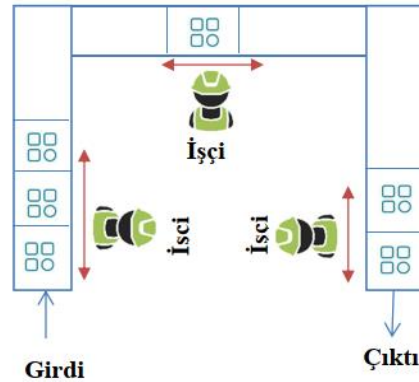
Toyota Üretim Sistemi Japonya'da, otomotiv endüstrisindeki uygulamanın yanı sıra, elektronik, metal işleme, mekanik ve gıda tedariki dâhil olmak üzere diğer imalat endüstrilerinde benimsenmiştir. Bu yenilik aynı zamanda hizmet sektörlerine de uygulanmaya başlamıştır. Ancak, şu anda Toyota Üretim Sisteminin otomobil endüstrisinde olduğu gibi diğer endüstrilerde de büyük verimlilik sağlayabileceğini gösteren yeterli kanıt yoktur (Liker, 2004). Elektronik endüstrisindeki özellikle televizyon, dijital kamera, bilgisayar ve yazıcı gibi parçalar ve ürünleri otomobil endüstrisindeki büyük bileşenleri ile karşılaştırıldığında, son derece küçük görünüm ve hafiftir. Bu nedenle, elektronik endüstrisinde manuel işlemler ve nakliye daha kolaydır. Elektronik endüstrisinin bu özelliklerinden dolayı Toyota üretim sistemi ile beklenen yüksek verimlilik elde edilememiştir. Dolayısıyla yeni bir üretim sistemine geçmek kaçınılmaz olmuştur (Imaoka, 2005).

3.1. Seru Üretim Türleri

Saf seru üretim sistemi, bölünmüş Seru, dönen Seru ve yatai Seru olarak üç temel sınıfa ayrılmaktadır (Yu & Tang, 2019).

3.1.1. Bölünmüş Seru

Bölünmüş Seru, kısmen çapraz eğitilmiş birkaç işçinin bulunduğu kısa bir hattır. İşçiler çapraz eğitilmiştir ancak tam yetenekli değildir.



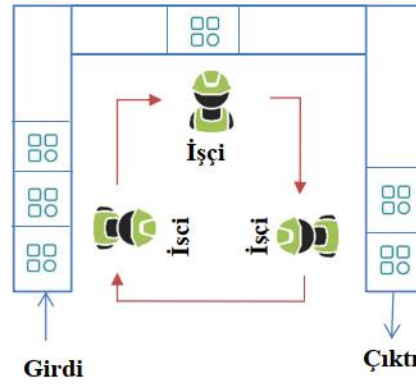
Şekil 3.2. Bölünmüş Seru

Şekil 3.2'de bölünmüş seru için örnek gösterilmektedir. Bir bölünmüş Seru içindeki görevler farklı bölümlere ayrılmaktadır.

Her bölüm bir veya daha fazla çalışanın sorumluluğundadır ve bölümdeki görevler tamamlandıktan sonra ürün bir sonraki bölüme iletilir.

3.1.2. Dönen Seru

Çapraz eğitimin sonucunda, bazı çalışanlar bir veya birden fazla ürün çeşidinin üretiminde gerekli tüm görevleri baştan sona yerine getirmek için niteliklidirler. Dönen bir Seru istasyonları genellikle U şeklinde düzenlenmektedir ve birkaç çapraz eğitilmiş işçi bir istasyondan diğerine geçiş yaparak bir ürünün montaj görevini baştan sona kadar kesintisiz olarak gerçekleştirmektedirler. Bir ürünü bitirdikten sonra, işçi, başlangıç iş istasyonuna geri dönerek yeni bir tura başlamaktadır.

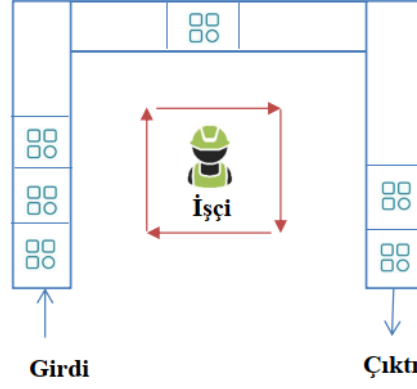


Şekil 3.3. Dönen Seru

Şekil 3.3'te dönen Seru'nun örneği gösterilmektedir. Dönen Seru'da işçilerin teknik beceriler konusunda çapraz eğitim almalarına rağmen, kapsamlı yönetim bilgisine sahip değiller. Dolayısıyla yönetim görevlerini üstlenmek için hala profesyonel bir yöneticiye ihtiyaç duyulmaktadır.

3.1.3. Yatai Seru

Yatai, yalnızca bir çalışandan oluşan bir Seru'dur. Bazen dönen Seru, sürekli olarak yatai Seru'ya, yani çalışanın yeteneklerine ve potansiyellerine tam anlamıyla yer verebilen tek bir işçi birimine dönüşebilir. Yatai Seru'da bir çalışanın tüm işleri tek başına tamamlayabilmesine izin verir. İşçinin iş istasyonları ve gerekli ekipmanlara erişebildiği için bir iş istasyonundan diğerine gitmesi gerekli değildir. İşçi, diğer işçilerden gelen kısıtlamalardan kurtulabilir ve kabiliyetini sonuna kadar kullanabilir.



Şekil 3.4. Yatai Seru

Yatai Seru için örnek şekil 3.4'te verilmiştir. Yatai'deki işçi uzun bir süre boyunca tam çapraz eğitim almalı ve tüm teknik ve yönetsel becerilerde yetkin olmalıdır. Esneklik ve verimlilik Yatai'nin iki önemli özelliğidir.

Bölünmüş, dönen ve yatai Seru karşılaştırması Tablo 3.1 'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Seru Tipleri Karşılaştırması

	Yatai Seru	Döner Seru	Bölünmüş Seru
Bir hücredeki işçi sayısı	Tek	Çok	Çok
Her işçinin iş dağılımı	Tüm işler	Tüm işler	Kısmi işler
İşçi hareketi	Düşük	Yüksek	Ortak

3.2. Seru Üretim Sisteminin Özellikleri

Seru, Japoncada hücresel konfigürasyonu anlamına gelmektedir, ancak bu yaklaşım Avrupa'daki hücresel üretiminden farklıdır. Seru üretim sistemini diğer üretim yöntemlerinden ayıran özellikler mevcuttur. Bu özellikler aşağıdaki gibidir (Liu et al., 2010) :

- Bir ürünün üretim sürecinin tamamı veya çoğu bir Seru'da tamamlanır.
- İnsan odaklı bir üretim sistemidir.
- İşçiler vasıflıdır ve çapraz eğitilidir.
- Düşük otomasyon gerektiren bir sistemdir.
- Ürün hataları zamanında kontrol edilebilir ve tamir edilebilir.
- Üretim alanından tasarruf sağlamaktadır.
- Seru U,L,I gibi çeşitli yerleşim şekline sahip olabilir.
- Seru, sürekli gelişen ve öğrenen organizasyondur.

3.3. Seru Üretim Sistemin Avantaj ve Dezavantajları

Seru sisteminin işletmeye getirdiği birçok avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Bunlardan en önemli avantajları (Liu et al., 2010):

- Yüksek esneklik,
- Kısa teslim süresi,
- Düşük envanter,
- Çalışanların moralinin yüksek olması vb.

Dezavantajları ise:

- Üretim hacmi arttığında, Seru'nun kapasitesi iş istasyonları eklenerek veya ek Serular kurularak hızlı bir şekilde ayarlanabilir. Ancak Seru sayısında artış sınırlıdır; Bir Seru'daki işçi sayısı genellikle yaklaşık 15 ile sınırlıdır. Üretim hacmi belirli bir seviyeden fazla arttığında, verimlilik montaj hattından daha düşük olacak ve aynı zamanda yatırım artacaktır.
- Birden fazla beceriye sahip çapraz eğitilmiş işçi, Seru üretimin sisteminin ana özelliklerinden biridir. Bu nedenle eğitime büyük miktarda para ve zaman harcanmalıdır.
- Seru'daki işçiler becerilerini geliştirmek için birkaç eğitim kursuna katılmaları gerekiyor. Daha fazla bilgi ve beceri kazanmak için çok zaman ve enerji harcayan bu işçiler, hem üretim hem kalite kontrolünden sorumludurlar. Dolayısıyla işçiler Seru'da konveyör hattına göre daha yüksek psikolojik baskı ve yorgunluk hissetmektedirler, bu nedenle bazı işçiler Seru'nun uygulanmasına karşı olabilirler.
- Değişken üretim maliyetlerinde artış olur.

3.4. Seru Üretim Sisteminin Diğer Üretim Sistemleri İle Kıyaslanması

Seru üretim sistemi teknik, strateji, performans ve operasyonel olarak diğer üretim sistemlerinden farklıdır (Yin, Stecke, & Li, 2018). Aşağıda bu farklılıklar detaylı bir şekilde verilmiştir.

3.4.1. Seru Üretim Sisteminin Montaj Hattı İle Kıyaslanması

Montaj hatları genellikle üretimin son aşamasında daha önce yapılan parçalar ile ürünün son montajını gerçekleştirmek için kullanılır. Bir montaj hattı birbirine malzeme taşıma sistemleri ile bağlanmış bir dizi istasyondan oluşur. Montaj hattında işçilerin hepsi çok vasıflı olmak zorunda değildir.

Ancak Seru sisteminde işçiler için birçoğunu yaptığı için vasıflı olmaları önemli bir etkidir. Montaj hattı ile Seru üretiminin karşılaştırılması Tablo 3.2’de verilmiştir (Yu & Tang, 2019).

Tablo 3.2. Seru Üretim ve Montaj Hattının Karşılaştırılması

Karşılaştırma	Seru Üretim	Montaj Hattı
Esneklik	Yüksek	Düşük
Hacim	Düşük	Yüksek
Stok durumu	Az sayıda bitmiş ürün ve yarı mamul stoğu	Büyük miktarda bitmiş ürün ve yarı mamul stoğu
Üretim	Sipariş üzerine üretim	Stoğa göre üretim
Organizasyon yönetimi	Çok vasıflı işçi, işçiye tam yetki	Tek vasıflı işçi, iş bölümü
Üretim formu	Paralel üretim	Seri üretim
Amaç	İşçiler arasında en yüksek verimlilik	En yavaş çalışan işçinin verimliliğini artırma
Ekipman yatırımı	Düşük	Yüksek
Otomasyon derecesi	Düşük, manuel işlem	Yüksek
İşçi heyecan ve motivasyonu	Yüksek	Düşük
İşçi yönetimi	Girişim ile ilerleme	Pasif yönetim
Enerji tüketimi	Düşük	Yüksek
Hatalı ürünler	İzlenmesi kolay	İzlenmesi zor
Bütünlük	Yüksek	Düşük
Yerleşim düzeni	Düz hat, U tipi	Düz hat
Önkoşullar	Çok vasıflı işçi, düşük hacim, yüksek çeşitlilik	Seri üretim
Dezavantaj	Kompleks yönetim, çok vasıflı işçi ihtiyacı	Düşük esneklik, darboğaz, yüksek yatırım
Avantaj	Yüksek esneklik, düşük yatırım, değişkenliğe karşı uyumlu	Tek vasıflı işçi ihtiyacı, basit yönetim, seri üretimde yüksek verimlilik

3.4.2. Seru Üretim Sisteminin Toyota Üretim Sistemi İle Kıyaslanması

Toyota Üretim Sistemi, Toyota Motor Corporation tarafından geliştirildi. Sistemin amacı; fabrika içindeki israfı önlemektir. İçeriğini sıfır envanter, JIT, kanban oluşturur. Tablo 3.3’te Seru üretimi ile karşılaştırılması görülmektedir (Lian et al., 2018; Yu & Tang, 2019).

Tablo 3.3. Seru Üretimi ile TUS Karşılaştırılması

	Karşılaştırma	Seru Üretim	TUS
Benzerlikler	Pazar Ortamı	Yüksek çeşitlilik, düşük hacim, değişken ürün çeşidi ve hacim	Yüksek çeşitlilik, düşük hacim
	İsraf minimizasyonu	Sıfır stok, JIT, kanban	Sıfır stok, JIT, kanban
Farklılıklar	Organizasyon	Çoklu seru	Karma ürün hattı
	Çok vasıflı işçi	Olmalı	Olabilir ancak gerekli değil
	Teslim süresi	Kısa	Uzun ya da müşteri bekleyebilir
	Çeşit değişikliği	Üretim sisteminde etkisi az	Üretim sisteminde etkisi fazla
	Uygulama alanı	Elektronik endüstrisi	Otomotiv endüstrisi
	Ekipman	Basit, ucuz, hafif ve taşınabilir	Pahalı ve işlevi fazla
	Yeniden yapılandırma	Pazar talebine göre hızlı yapılandırılır	Sık sık yapılandırılma uygun değil

3.4.3. Seru Üretim Sisteminin Hücresel Üretim İle Kıyaslanması

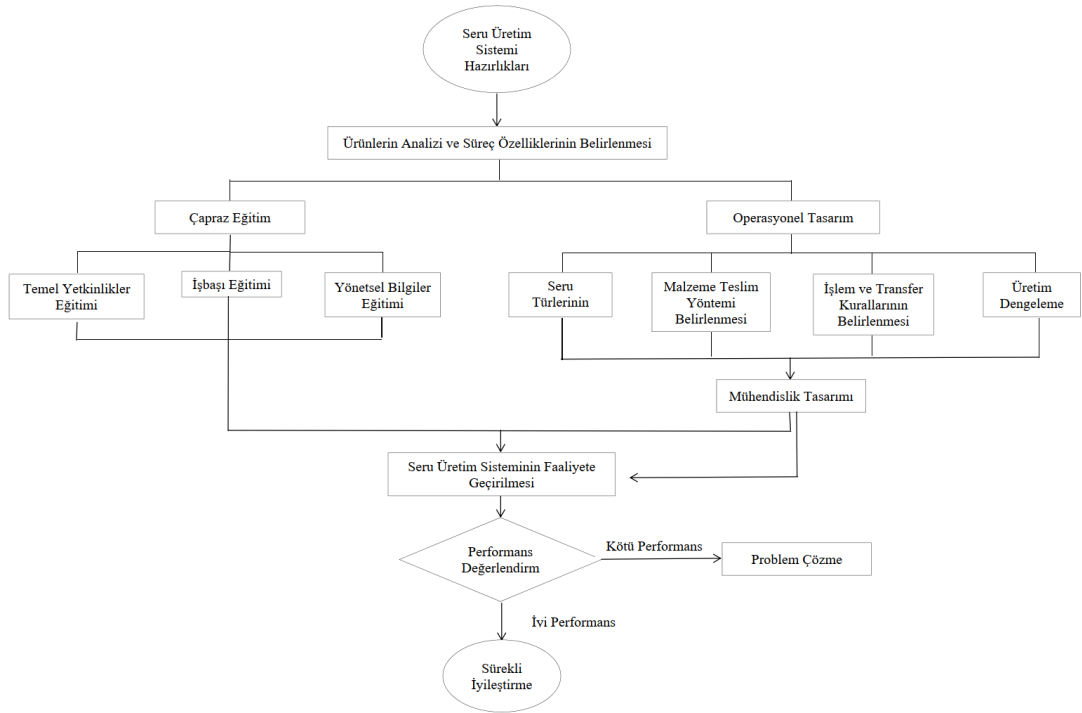
Hücresel üretim sistemleri, sistem içinde benzer imalat karakteristiklerine sahip belli parça gruplarının ayrı yerlerde imalatı için işlem, insan makine gruplarının oluşturduğu sistemlerdir. Seru üretim sisteminin hücresel üretim ile kıyaslanması Tablo 3.4'te gösterilmiştir (Lian et al., 2018; Yu & Tang, 2019).

Tablo 3.4. Seru Üretim ile Hücresel Üretimin Karşılaştırılması

	Karşılaştırma	Seru Üretim	Hücresel Üretim
Benzerlikler	Pazar ortamı	Yüksek çeşitlik, düşük hacim	Yüksek çeşitlilik, düşük hacim
	Yerleşim düzeni	U şekli ve başka kompakt düzenler	U şekli ve başka kompakt düzenler
	İşçi	Çok vasıflı	Çok vasıflı
Farklılıklar	Ortaya çıkışı	1990'lı yıllarda Japon endüstrisi	1960'lı yıllarda Avrupa endüstrisi
	Birim adı	Seru	Hücre
	Odak noktası	İşçi odaklı	Makine odaklı
	Amaç	Montaj hattının eksikliklerini giderme (düşük esneklik, darboğaz)	Atölye tipi üretimin verimliliğini artırma
	Anahtar teknoloji	Seru oluşumu ve çizelgelemesi	Grup teknolojisi
	Üretim tipi	Genellikle montaj işlemleri	Talaşlı imalat, temizleme, şekillendirme, döküm, ısıl işlem vb.
	Ekipman	Basit, ucuz, taşınabilir	Pahalı, çok işlevli
	Ünite yapımı	Seru oluşumu ve ekipman düzeni	Makine gruplaması ve düzeni
	Benzerlik	İşçi beceri seviyesindeki benzerlik	Parça-ürün benzerlik
	Çok vasıflı işçi	Birden çok görevi yürüten çok vasıflı işçi	Benzer parçaları/ ürünleri işleyen çok vasıflı işçi
Yeniden yapılandırma	Pazar talebine göre hızlı yeniden yapılandırma	Sık sık yeniden yapılandırma uygun değil	

3.5. Seru Üretimi İçin Uygulama Çerçevesi

Birçok fabrikanın Seru üretimini uygulayarak tatmin edici bir performans elde etmemesinin nedeni; Seru üretiminin nasıl uygulanacağı konusundaki bilgi eksikliğinden kaynaklanmaktadır. Özellikle yöneticiler için Seru üretiminin nasıl uygulanacağına dair ayrıntılı bilgilendirme yapılması gerekmektedir. Fabrikadan fabrikaya değişen koşulların yanı sıra çeşitli pazar ortamlarında Seru üretiminin uygulama detayları her zaman aynı değildir. Bununla birlikte, genel bir uygulama çerçevesi çoğu fabrikaya fayda sağlamaktadır. Şekil 3.5'teki kutular aşağıdaki bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.



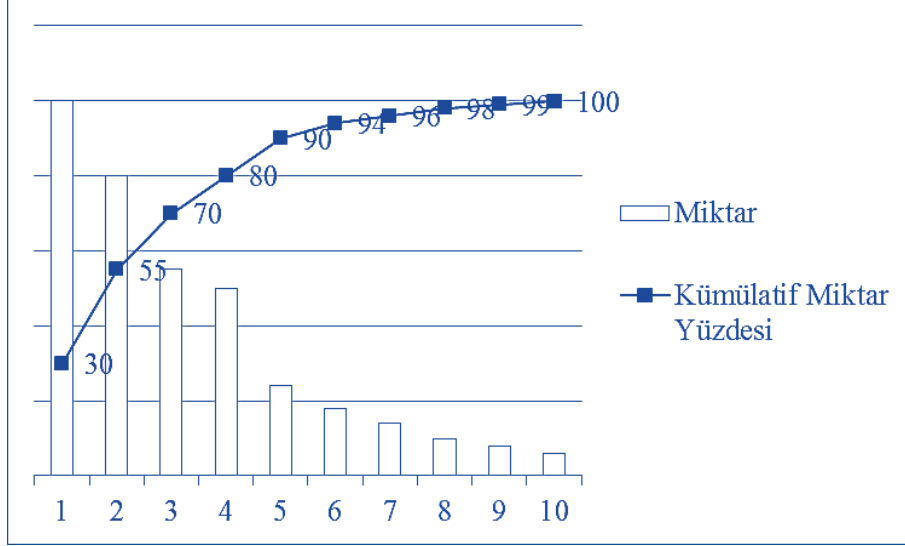
Şekil 3.5. Seru Üretim Sistemi İçin Genel Bir Uygulama Çerçevesi

Şekil 3.5'te Liu, Stecke, Lian, and Yin (2014) tarafından birçok üretim fabrikasının uygulamaları kapsamlı inceleyerek Seru üretimi için belirtilen genel bir uygulama çerçevesi önerilmiştir.

Seru üretim uygulaması, yapılacak tüm ürünlerin ve bunları yapma süreçlerinin analiziyle başlar. Ürün özellikleri analizi sırasında, Seru üretimde işlenecek uygun ürün tipleri, Bölüm 3.5.1'de açıklandığı gibi tanımlanır. Seçilen bu ürün türlerinin süreç özelliklerinin ayrıntılı bir analizini Bölüm 3.5.2'de verilmiştir.

3.5.1. Ürünlerin Analizi

Fabrikalarda Seru üretim sisteminin uygulanması için ilk önce ürünlerin analizi yapılması gerekir. SÜS çok yaygın bir üretim yöntemi olmadığı için fabrikalar tüm ürün türlerini değil; bazı ürün türlerini seçerek uygulama yaparlar. Seçilen ürün türlerinden sonra kademe kademe diğer ürün türleri üzerinde çalışılmalıdır. SÜS, yüksek hacim ve düşük ürün çeşidinin olduğu ortamdır. Verimi düşük, maliyeti yüksek olur. Bunun yüzünden seçilen ürünlerin analizinin doğru bir şekilde yapılması çok önemlidir. Şekil 3.6'da gösterilen ürün-miktar ilişkisi uygun ürünleri seçmeye yönelik bir analizdir (Liu et al., 2014).



Şekil 3.6. Ürün-Miktar Analizi (Liu et al., 2014)

Şekil 3.6'daki grafikte yatay eksen ürün türlerini, dikey eksen ürün miktarlarını, eğimli çizgi ise kümülatif miktar yüzdesini gösterir. Ürün türleri kümülatif miktar yüzdesine göre dört sınıfa ayrılır.

- Kümülatif miktar yüzdesi %70'in altında olan "A Grubu",
- Kümülatif miktar yüzdesi %70-%90 arası olan "B Grubu",
- Kümülatif miktar yüzdesi %90-%98 arası "C Grubu",
- Kümülatif miktar yüzdesi %98-%100 arası ise "D Grubu" olarak adlandırılır.

Bu durumda;

- 1, 2, 3 numaralı ürün türü A grubuna,
- 4, 5 numaralı ürün türü B grubuna,
- 6, 7, 8 numaralı ürün türü C grubuna,
- 9 ve 10 numaralı ürün türü ise D grubuna dahildir.

Bu grafik Pareto analizi grafiği veya ABC analizi grafiği ile benzerlik göstermektedir (Liu et al., 2014).

SÜS uygulamasında deneyim kazanmak için B ve C gruplarındaki ürünleri kullanmak daha iyi bir tercih olur. Çünkü bu gruplarda ürünlerin parti boyutları orta seviyede olan birkaç ürün türleridirler. Fabrikalardaki toplam ürün çeşitliliğinin büyük kısmını oluştururlar. Bu durum Seru üretim sisteminin esnekliği ve verimliliği yüksek bir yöntem olduğunu göstermek için idealdir. A grubu ürünler, üretim hacmi büyük olduğu için seri üretim yöntemini kullanmak daha uygundur.

Bu sayede montaj hattının verimliliği arttırılır. D grubunda bulunan ürünler ise üretim hacimleri az olanlardır. Bazen yönetim deneyimi olmayan daha çok küçük ölçekli fabrikalarda, üretim hacmi az olduğu için D grubu Seru üretim sistemini uygulamak için kullanırlar. Bu durum üretimde tekrar tekrar ayarlamalar ve yeniden yapılandırılmadan kaynaklı ek maliyete neden olabilir (Sarı, 2020).

3.5.2. Süreç Özellikleri

Bir fabrikada Seru üretim sistemini uygulamak için uygun ürün türleri tespit edildikten sonra bu ürünlerin; süreçlerini de ayrıntı bir şekilde analiz edilmesi gerekir. Süreçleri analiz etmek hatların kaç Seru'ya bölüneceğini ve oluşturulacak Seru'nun boyutunu belirler.

Bir ürün bir Seru'da tamamen bitmesi gerekir. Bunun için işçiler çapraz eğitime tabi tutulması gerekir. Eğitim alan işçiler, aralarındaki iletişimi güçlendirerek bilgi aktarımı ve işbirliği yaparlar.

Seru'da en fazla yedi işçi çalışabilir. İdeali bir ile beş arasındadır. İşçilerin sayısı yediyi geçmesi durumda dengesiz üretim, teslimatlar arasındaki süre farkı gibi olumsuz durumlarla karşılaşılabilir. Seru verimsizleşir, geleneksel montaj hattı gibi olur (Liu et al., 2014).

3.6. Seru Üretim Sisteminin Tasarımı

Seru üretim sistemleri tasarımı, mühendislik tasarımı ve örgütsel tasarımı olmak üzere ikiye ayrılır. Mühendislik tasarımı, özel alet edevatlar, özel ekipmanlar, nakliye araçları, bilgi, kontrol ve iş istasyonlarının tasarımını oluşturur. İş istasyonları işçilerin el, göz hizasına göre tasarlanması gerekir. Ayrıca ürünlerin boyutları ve gerekli araçların durumları da dikkate alınması gerekir. Örgütsel tasarım ise Seru türlerinin seçimi, malzeme teslim yöntemlerinin belirlenmesi, işleme ve transfer kurallarının seçimi ve üretim dengelenmesinden oluşur. Örgütsel tasarım ile ilgili ayrıntılı bilgi 3.6.1. ile 3.6.4. arası verilmiştir.

3.6.1. Seru Türlerinin Seçimi

SÜS iki karakteristik özellik temelinde oluşur. Bunlar Kanketsu ve Majime'dir. Kanketsu, bir Seru'nun bir ürün üretmek için lazım olan tüm görevleri içerir. Majime ise tüm kaynakların derli toplu bir şekilde yerleştirildiği anlamına gelir. Farklı üretim gereksinimlerini karşılamak için Seru yerleşimleri duruma göre değişmektedir. Seru üretim sistemleri türleri içinde en temel olanları bölünmüş, dönen ve Yatai Seru'dur.

Ürünü Seru içerisinde üretebilmek için gerekli ekipman ve işçi sayısına göre Seru türü seçilir. Bu Seru türleri Bölüm 3.1’de detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Seru üretim türleri iç-dış faktörler, işçilerin beceri düzeylerine göre değişebilen, geliştirilebilen bir sistemdir. Yani, Seru üretim türü seçilirken değiştirebilmesi mümkün olmayan kurallar mevcut değildir, duruma göre esnetilebilir.

3.6.2. Malzeme Teslim Yöntemlerinin Belirlenmesi

SÜS fabrikaların dağıtım organizasyonunun durumdan etkilenir. Bir dağıtım organizasyonu kötü tasarlanmışsa malzeme teslimi ve sevkiyatta sıkıntı yaşanabilir. Seru sistemlerinde alan dar olduğu için hammadde veya bitmiş ürünler fazla bekletilmez, Serular arasında malzeme akışının düzgün olması gerekir. İyi tasarlanmış bir dağıtım organizasyonunda malzeme tedariki zamanında olur, Serular arası malzeme transferi kolaylaşır, bitmiş ürünler belirtilmiş tarihte teslim edilir. Malzeme teslim yöntemlerini belirlenirken, teslimat süresi, teslimat yöntemi, teslimat parti büyüklüğü ve teslimat sıklığı gibi faktörler entegre bir şekilde aşağıdaki gibi dikkate alınmalıdır (Iwamuro, 2004).

Teslimat Süresi: Üretimde sürekliliğin sağlanabilmesi için doğru teslimatı doğru zamanda yapmak gerekir. Çünkü; her Seru’nun işlem hızı aynı değildir. Bunun için teslimat tarihini iyi bir şekilde planlanması lazımdır.

Teslimat Yöntemi: Her bir Seru içindeki işçilerin bilgi ve beceri düzeyleri farklı olduğu için teslimat onlara göre yapılması gerekir. İşçiler analiz edilerek uygun teslimat yöntemleri bulunmalıdır.

Teslimat Parti Büyüklüğü: Büyük hacimli parçalar veya ürünler küçük partiler şekline getirilmesi gerekir. Çünkü; Seru sisteminde boş alanlar çok azdır. Bunun yüzünden parçaların veya ürünlerin alanlara sığması için küçültülmesi gerekir.

Teslimat Sıklığı: Yoğun olan Seru sistemlerinde küçük parti ihtiyaçlarını karşılamak için sık sık teslimat yapmak gerekir.

3.6.3. İşlem ve Transfer Kurallarının Belirlenmesi

Fabrikalarda belirlenen kurallar, Seruların düzeninden, işçilerin çalışma düzeninden, üretim hacminden, ürünlerin özelliklerinden vb. gibi birçok etkenden etkilenirler. Bu gibi etkenler fabrikalar arasında kuralların değişkenlik göstermesine neden olur (Sarı, 2020). Seru üretim sisteminde genellikle üç süreç işlem kuralı onaylanır. Bunlar:

Tek parça işleme ve tek parça transfer. Seru üretim sisteminde en çok kullanılan kuraldır. Ürün boyutu büyük olduğu için tek tek işlenir, bir sonraki işleme gönderilir. Boyutun büyük olmasından kaynaklı işlemler uzun sürer.

Tek parça işleme ve küçük parti transfer. Boyutu küçük, işlem süresi kısa, ağırlığı hafif olan ürünlerde uygulanılır. İşlenen ürünler diğer işleme hemen aktarılmaz, tampon denilen bölgeye götürülür. 10 parçadan az olan ürünler biriktikten sonra toplu olarak sonraki işleme aktarılır.

Küçük parti işleme ve küçük parti transfer. Bir ürünün, her işleminde kısa işlem süreleri varsa Seru üretim sisteminin performansını yükselten bir kuraldır. Bir partide genellikle beş ürün vardır. Bu partiler, küçük parti olarak işlenir ve diğer işleme gönderilir.

Seru üretim sistemlerinin transfer süreci ürün türlerinin karıştırılma durumuna göre iki kuralı mevcuttur. Bunlar:

Karışık akış transfer. Kompleks ürünlerin üretildiği birleşik Serularda kullanılan kuraldır. Birbirinden farklı ürün parçaları veya türleri belirli bir kurala göre gruplar. Gruplanan ürünler aynı anda uygun işlemlere gönderilir. Bu kuralda işçilerin çalışma becerileri yüksek, üretim dengeleme ve çizelgeleme kabiliyeti olması gerekir.

Tek akışlı transfer. Genellikle bölünmüş Seru veya tekli üretim hatlarında uygulanır. Birbirinin aynısı olan ürün parçaları veya ürün türleri art arda birinden diğerine aktarılır. Diğer ürün parçaları/ türleri birbirleri ile çakışmazlar.

3.6.4. Üretim Dengeleme

Seru üretim sisteminde kısa teslim süreleri ve düşük süreç içi envanter ile üretim dengelemesi yapılmaktadır. Üretimi dengelemek sistem verimliliğini artırır. Bölünmüş ve dönen Seru'da, Seru içi dengeleme görülürken; bileşik Seru'da ise Serular arası dengeleme görülür. Bölünmüş ve dönen Seru'da Seru içi dengeleme, işlem ve operatör dengelenmesi ile olur.

Seru içi işlem dengeleme: Serularda genellikle bir ila beş işçi bulunur. Operasyon dengesinin korunması için işçi sayısının yediyi geçmemesi gerekir. Yoksa ayrı operasyonlar arasında dengeyi sağlamak zorlaşır.

Seru içi operatör dengeleme: Taleplerin dalgalanmasından kaynaklı kullanılan yöntemdir. Operatör sayısı artırılır veya yeni bir Seru oluşturulur. Operatör sayısını arttırmak dönen Seru'da sıklıkla kullanılır.

Bileşik Serularda Serular arası dengeleme, Seru içi üretim dengelenmesi ve tüm üretim sürecini dengelenmesi ile mevcuttur.

Bileşik Serularda seru içi üretim dengeleme: Ürün parçası birden fazla olan kompleks ürünler tek bir Seru'da ilk aşamadan son aşamasına kadar işlenemez. Her bir parça en az bir Seru'ya atanarak işlenir. Bileşik Serularda işlenen parçalar montaj Seru'sunda bir araya getirilip tamamlanır. Sistemde parçalar için oluşturulan Seru sayısını ve atanacak işçi sayısını tespit ederek denge sağlanmaya çalışılır.

Tüm üretim süreci dengeleme: Tüm üretim sürecinin dengelenmesi için üretim kapasitesini analiz etmek gerekir. Fabrika içinde üretim hazırlığı, yardımcı faaliyetler, yerleşim düzeni, dağıtım sistemi dahil olmak üzere dengelemeyi etkileyen durumlardır.

3.7. Seru Üretim Sistemlerinde Çapraz Eğitim

Seru üretim sisteminin işlenebilir olması, işçilerin çok vasıflı olmasıyla mümkündür. Çünkü; Seru sistemi insan odaklı bir sistemdir. Bu sistemde işçilere çapraz eğitim vermek ve uygun işlere atamak için toplam maliyeti azaltmaya çabalamışlardır. Çapraz eğitim; gerekli becerilerin belirlenmesi, farklı hedeflerin belirlenmesi, kapsamlı eğitim planı oluşturulması, etkili yöntemin seçilmesi, gelişmiş eğitim yaklaşımlarının kullanılması ile uygulanır.

Eğitim için gerekli becerilerin belirlenmesi: Çeşitli ürün türleri iyi bir şekilde analiz edilir. Analiz edilen ürünlerin görevleri belirlenir ve bu görevlere uygun işçiler atanır. İşçiler görev için uygun becerileri bilmesi gerekir. Bu sayede neyi ne yapması gerektiğini bilir. İşçiler, bölünmüş Seru'da kendi görev aralığı ve bitişik görevler üzerine eğitim alırlar. Dönen ve Yatai Seru'da ise tüm üretim sürecini kapsayan bir eğitim verilmesi gerekir.

Farklı hedefler belirlenmesi: Fabrikalardaki yöneticiler işçilere operasyon dengelenmesi hakkında bilgilendirilmesi gerekir. Ürün üzerinden eğitim verilir. Yönetici ve işçiler arasında tam iletişim sağlanmalıdır. Bu sayede işçiler bilgi ve beceri düzeylerini öğrendiği gibi çalışma hevesi de artar.

Kapsamlı bir eğitim planı oluşturulması: Seru sisteminde ürünlerin ve süreçlerin analizi yapıldıktan sonra işçilerin çapraz eğitimi için uygun bir planlama yapılması gerekmektedir. Eğer planlama da bir sapma söz konusu olursa düzeltici tedbirler alınmalıdır.

Etkili çapraz eğitim yöntemlerini seçilmesi: Yeni işçilerin eğitimi kitap üzerinden teorik olarak verilebilir. Teorik eğitim yerine uygulama tabanlı eğitim de olabilir. Seru üretiminin olduğu yerlerde çapraz eğitim verilir. Kompleks işlemlerin olduğu yerlerde iş başında eğitim almak daha iyidir.

Gelişmiş eğitim yaklaşımlarının kullanılması: Seru üretim sisteminde işçiler bazen yönetim ve problem çözme görevlerinden de mesuldür. İşlemlerin sorunsuz bir şekilde devam edebilmesi için işçilerin know-how eğitimiyle beraber know-why eğitimini de alması istenir. Know-how eğitimi, işçileri teknik açıdan güçlendirir. Know-why eğitimi ise görevlerinin tanımlarını ve amaçlarını öğretir.

Seru üretim sisteminde işçilerin yetenek düzeyini yükseltmek için çaba gösterilir. Bu yüzden diğer üretim sistemine kıyasla işçilere yapılan yatırımlar Seru sisteminde daha fazladır. İşçilerin yetkin olması, sistem içinde oluşabilecek bir problemin erken tespit edilmesini ve bu problemin hızlı bir şekilde çözüme kavuşmasını sağlar.

3.8. Seru Üretim Sisteminin Çalışması ve Değerlendirilmesi

Bir fabrikada uygulanan Seru sisteminin bir veya birden fazla kısmı yeterli performans veremeyebilir. Bu durum üretimdeki verimliliğin istenilen seviyeye olmamasına neden olur. Ürünün kalitesi, teslimat süresi ve çalışma yöntemleri Seru üretim sisteminin uygulanmasında problem yaratabilir. Bu problemlerin çözülmesi için problemin ana nedeni bulunur ve uygun bir çözüm yöntemi aranır. Seru üretim sisteminde yöneticiler, problemleri zamanında çözmeyi, Seru alanının ziyaret edilmesi, işçilerin öneri ve gereksinimlerine dikkat edilmesi üzerine çalışma yaparlar.

Problemlerin zamanında çözülmesi: Ortaya çıkan herhangi bir problem analiz edilerek en kısa sürede çözülmesi gerekir. Kusurlu olan ürünler tespit edilerek müşterilere asla satılmamalıdır. Tespit edilenler de uygun bir şekilde düzeltilip yeniden işleme sokulmalıdır.

Seru alanının ziyaret edilmesi: Üretimde neyin ne olduğunu düzenli bir şekilde takip edilerek bilgilerin birinci kişiye ulaşmasını sağlar. Bu sayede oluşabilecek bir problem erken tespit edilebilir.

Operatörlerin önerileri ve gereksinimlerine dikkat edilmesi: Üretimde bir problem meydana geldiğinde işçilerin iyileştirme yapması beklenir. Yaptığı tespitler yöneticilere aktarılır. Yetemediği durumlarda işçilere ne yapması gerektiği öğretilir.

İşçilerin iyileştirme etkinliğine katılması motivasyonunu yükseltir ve bir sonraki etkinliğe katılmasına teşvik eder.

Seru üretim sisteminin iyi performans gösterip göstermediği üzerine değerlendirme çalışmaları yapılır. Yapılan çalışmalar sonucunda değerler eski sistem değerlerine göre yüksekse, Seru sisteminin iyi performans sergilediğini gösterir. Bu raddeden sonra sistemde üretim etkinliğini arttırmak için sürekli iyileştirmeler yapılır. Seru üretim sisteminin uzun vadede uygulanması sürekli iyileştirmedir. Sürekli iyileştirme sadece bir Seru'ya değil; bütün üretim sürecinde kullanılabilir. Seru sisteminin işleyişiyle beraber alınacak önlemler ve kriterler de sürekli iyileştirmeye tabi tutulmalıdır.

3.9. Seru Üretim Sistemi Uygulama Süreci

(Yin, Stecke, Swink, & Kaku, 2017), Seru üretim sisteminin uygulanma sürecini beş adımda belirtmiştir. Şekil 3.7'de bu süreç gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Seru Üretim Sistemi Uygulama Süreci (Liu et al., 2014)

Şekil 3.7'de üretim sürecinin aşamaları verilmiştir. Bu aşamaların ayrıntılı bilgileri aşağıdaki gibidir:

Birinci adım: İhtiyacın ortaya çıkması. Müşteri taleplerinin sürekli değişmesi montaj hatlarını yetersiz kılmaktadır. Pazar ortamına ayak uydurmak için hızlı, çevik ve yalın olması gerekir. Bunun için en uygun yöntemlerin seçimine ihtiyaç duyulmaktadır.

İkinci adım: Montaj hatlarının dağıtılması. Montaj üretim hatları dağıtılarak Serular oluşturulur.

Üçüncü adım: Ekipman değişimi ve düzenlenmesi. Montaj hatlarındaki özel amaçlı ekipman değiştirilerek Seru üretim sistemine uygun genel amaçlı ekipmanlar kullanılır.

Dördüncü adım: Çalışanların eğitimi ve Seru türlerinin dönüşümü. İşçilere çapraz eğitim verilerek yetkinliği artırılır. Bu sayede işçiler daha fazla ve çeşitli görevleri yerine getirebilirler. İşçilerin yetkinliği bölünmüş, dönen ve yatai Seru'da kademeli olarak artmaktadır.

Beşinci adım: Seru üretim sistemi iyileştirilmesi. Seru sistemi kompleks hale geldikçe denetleme artırılmalı, gereken iyileştirmeler yapılmalıdır. Talepler karşılandıktan sonra dağıtılarak yeni bir talepte iyileştirilmiş Serular kurulmalıdır.

Bu adımlar ışığında SÜS uygulama süreci oluşturulur.

4. PROBLEM TANIMI

Montaj hatlarının eksiklikleri ve talepteki dalgalanmalar karşısında, montaj hattına dayalı yenilikçi SÜS şeklinde yapılandırmak firmalar için seçeneklerden biri olabilir. Verimlilik, geleneksel montaj hattını bir Seru sistemine dönüştürerek, özellikle kısa ürün yaşam döngüleri, belirsiz ürün türleri ve dalgalanan üretim hacimleri olan iş ortamında büyük ölçüde artırılabilir. Literatürde montaj hattını Seru üretim sistemine dönüştürme, hat-Seru dönüşümü problemi olarak tanımlanmaktadır. Seru ile yeniden yapılandırılmış üretim sisteminin iki şekli vardır. Birincisi, hem Serular hem de kısaltılmış montaj hattının bir arada var olduğu bir hibrit Seru'dur. İkincisi ise yalnızca Serulardan oluşan bir saf Seru'dur.

4.1. Önerilen Matematiksel Model

Bu çalışmada, montaj hattının saf Seru üretim sistemine dönüştürme problemi ele alınmıştır. Tüm Serular birbirini etkilemeden bağımsız olarak çalışmaktadırlar. Montaj hattını saf Seru sistemine dönüştürme problemini formüle etmek ve matematiksel model oluşturmak için sistemin varsayımlarını şu şekilde sıralayabiliriz:

- İşlenmesi gereken N ürün türü M ürün grubuna bölünmektedir. Her grup tek bir ürün tipini içermektedir.
- Seru içindeki çoğu montaj görevi manueeldir, bu nedenle yalnızca basit ve ucuz ekipmana ihtiyaç vardır ve ekipman çoğaltma maliyeti göz ardı edilmektedir.
- Her Seru içindeki montaj görevleri, montaj hattındakilerle aynıdır. Bu nedenle, toplam görev sayısı W 'ye eşittir.
- Bir ürün grubu tamamen bir Seru içinde işlenmektedir. Ürün gruplarının bölünmesine izin verilmemektedir.
- Seru tipleri dönen Seru veya yatai Seru'dur. Belirli bir Seru'ya atanan işçiler, tüm gerekli görevler için niteliklidir.
- Tüm ürün tipleri aynı montaj görevlerine sahiptir. Bir üründe bir görev kullanılmazsa, o görevin süresinin sıfır olduğu varsayılmaktadır.
- Montaj hattında, her bir görevin sadece bir işçi tarafından gerçekleştirdiği varsayılmıştır. Başka bir ifadeyle, her görev (veya istasyon) tek bir işçinin sorumluluğundadır. Bu nedenle, toplam işçi sayısı görev sayısına eşittir (W).

Bunun aksine, dönen ve yatai Seru'da her işçi tüm görevlerin yerine getirilmesinden sorumludur.

- Herhangi bir Seru'ya atanan farklı ürün grupları arasındaki kurulum süresi göz ardı edilir.
- Her Seru'da işçi sayısı farklı olabilir, ancak toplam işçi sayısından fazla olamaz.

Problem için önerilen karma tamsayı matematiksel modeli aşağıda sunulmuştur. Matematiksel modelde kullanılan indisler, notasyonlar, parametreler ve karar değişkenleri aşağıdaki gibidir:

İndisler

i: işçi indeksi ($i=1,2,\dots,W$) bir montaj hattındaki toplam işçi (görev) sayısı W 'ye eşittir.

j: Seru indeksi ($j=1,2,\dots,J$)

n: ürün tipi indeksi ($n=1,2,\dots,N$)

m: ürün grubu indeksi ($m=1,2,\dots,M$)

k: bir Seru'daki ürün grup dizisinin indeksi ($k=1,2,\dots,M$)

Parametreler

T_n : montaj hattındaki n. ürün tipinin çevrim süresi

B_m : m. ürün grubunun boyutu

D_m : m. ürün grubunun teslim zamanı

ϵ_i : i işçisinin bir Seru içinde birden fazla görev yapma düzeyini etkileme katsayısı

η_i : Bir Seru'daki çalışan için görev sayısının üst sınırıdır. i. işçiye atanan görev sayısını η_i 'den fazla ise bir Seru'daki ortalama görev süresi, orijinal montaj hattındaki görev süresinden daha uzun olacaktır.

β_{ni} : i işçisinin n ürün tipinin her bir görevi için beceri düzeyi.

$$v_{mn} \begin{cases} 1 & \text{Eğer m ürün grubunun ürün tipi n ise} \\ 0 & \text{Diğer durumda} \end{cases}$$

Karar Değişkenleri

$$x_{ij} \begin{cases} 1 & \text{Eğer } i. \text{ işçi } j. \text{ Seru'ya atanır ise} \\ 0 & \text{Diğer durumda} \end{cases}$$

$$Z_{mjk} \begin{cases} 1 & \text{Eğer } m. \text{ ürün grubu } j \text{ Seru'da } k. \text{ sıraya atanır ise} \\ 0 & \text{Diğer durumda} \end{cases}$$

Diğer Değişkenler

C_{w_i} : i . işçisinin görev süresi değiştirme katsayısı. Bir Seru'da i . işçinin görev sayısı işçinin görev sayısının üst sınırı (η_i) üzerinde olması durumunda (yani $W > \eta_i$), işçi orijinal hattındaki görev süresinden daha fazla ortalama görev süresi olacaktır.

$$C_{w_i} = \begin{cases} 1 + \epsilon_i \left(\sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^M Z_{mjk} * x_{ij} - \eta_i \right), & W > \eta_i, \quad \forall i \\ 1, & W \leq \eta_i \end{cases}$$

TC_m : Bir Seru'da m ürün grubun montaj süresi. TC_m , çalışanların beceri düzeyine göre değişir. Bir Seru için bir ürünün görev süresi, Seru'daki işçilerin ortalama görev süresi ile aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$TC_m = \frac{\sum_n^N \sum_i^W \sum_j^J \sum_k^M (v_{mn} * T_n * \beta_{ni} * C_{w_i} * x_{ij} * Z_{mjk})}{\sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^M x_{ij} * Z_{mjk}}$$

FC_m : Bir Seru'da m . ürün grubun akış süresi

$$FC_m = \frac{B_m * TC_m * W}{\sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^M x_{ij} * Z_{mjk}}$$

FCB_m : Bir Seru'da m . ürün grubun işleme başlama zamanı.

C_m : m . ürün grubunun tamamlanma zamanı

T_m : m . ürün grubunun gecikme süresi

Matematiksel Model

$$\text{Min } \sum_{m=1}^M T_m \quad (4.1)$$

S.t:

$$\sum_{i=1}^W x_{ij} \leq W \quad \forall j = 1, 2, \dots, J \quad (4.2)$$

$$\sum_{i=1}^W x_{ij} \geq 1 \quad \forall j = 1, 2, \dots, J \quad (4.3)$$

$$\sum_{j=1}^J x_{ij} \leq 1 \quad \forall i = 1, 2, \dots, w \quad (4.4)$$

$$\sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^M Z_{mjk} \geq 1 \quad \forall j = 1, 2, \dots, J \quad (4.5)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^M Z_{mjk} = 1 \quad \forall m = 1, 2, \dots, M \quad (4.6)$$

$$\sum_{m=1}^M Z_{mjk} \leq 1 \quad \forall j = 1, 2, \dots, J \quad (4.7)$$

$$\forall k = 1, 2, \dots, M$$

$$\sum_{m=1}^M Z_{mjk-1} \geq \sum_{m=1}^M Z_{mjk} \quad \forall j = 1, 2, \dots, J \quad (4.8)$$

$$\forall k = 2, 3, \dots, M$$

$$Cw_i \geq 1 + \varepsilon_i \left(\sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^M Z_{mjk} * x_{ij} - \eta_i \right) \quad \forall i = 1, 2, \dots, w \quad (4.9)$$

$$Cw_i \geq 1 \quad \forall i = 1, 2, \dots, w \quad (4.10)$$

$$TC_m \sum_i^W \sum_j^J \sum_k^M (x_{ij} * Z_{mjk}) = \sum_n^N \sum_i^W \sum_j^J \sum_k^M (v_{mn} * T_n * \beta_{ni} * Cw_i * x_{ij} * Z_{mjk}) \quad (4.11)$$

$$\forall m = 1, 2, \dots, M$$

$$FC_m \sum_i^W \sum_j^J \sum_k^M (x_{ij} * Z_{mjk}) = B_m * TC_m * W \quad \forall m = 1, 2, \dots, M \quad (4.12)$$

$$FCB_m = \sum_{s \neq m}^M \sum_j^J \sum_{k \geq 2}^M (FC_s + FCB_s) * Z_{mjk} * Z_{sjk-1} \quad \forall m = 1, 2, \dots, M \quad (4.13)$$

$$C_m \geq FC_m + FCB_m \quad \forall m = 1, 2, \dots, M \quad (4.14)$$

$$T_m \geq C_m - D_m \quad \forall m = 1, 2, \dots, M \quad (4.15)$$

$$T_m, C_m, TC_m, FC_m, FCB_m, CW_i \geq 0 \quad \forall m = 1, 2, \dots, M \quad (4.16)$$

$$\forall i = 1, 2, \dots, w$$

$$x_{ij}, Z_{mjk} \in \{0,1\} \quad \forall m=1, 2, \dots, M \quad (4.17)$$

$$\forall j = 1, 2, \dots, J$$

$$\forall k = 1, 2, \dots, M \quad \forall i = 1, 2, \dots, w$$

Modelin amacı (4.1), toplam geç teslim sürelerini minimize etmektir. Kısıt (4.2), her bir Seru'ya atanan işçi sayısının toplamı, en fazla montaj hattındaki işçi sayısı kadar (w) olmasını sağlamaktadır. Kısıt (4.3) herhangi bir Seru'ya en az bir işçinin atanmasını ve kısıt (4.4) bir işçi en fazla bir Seru'ya atanabileceğini göstermektedir. Kısıt (4.5) herhangi bir Seru'ya en az bir ürün grubunun atanmasını ve Kısıt (4.6) bir ürün grubunun mutlaka bir Seru'ya atanmasını sağlamaktadır. Kısıt (4.7-4.8) bir Seru'ya atanan ürün gruplarının sırasını belirlemektedir. Kısıt (4.9-4.10) işçisinin görev süresi değiştirme katsayısını, CW_i 'nin değişkenler bölümündeki tanımına göre belirlemektedir. Kısıt (4.11-4.12), sırasıyla herhangi bir ürün grubunun montaj süresini (TC_m) ve akış süresini (FC_m), değişkenler bölümündeki tanımlara göre belirlemektedir. Kısıt (4.13) herhangi bir ürün grubunun işleme başlama zamanını, Seru'da atandığı sıraya göre belirlemektedir. Herhangi bir Seru'da ilk sıraya atanan ürün grubunun işleme başlama zamanının sıfır olmasını ($FCB_m=0; \forall Z_{mjk}=1$ ve $k=1$), amaç fonksiyonunun minimum olması garanti etmektedir. Ürün grupların tamamlanma zamanı ve gecikme süreleri sırasıyla kısıt (4.14-4.15) tarafından hesaplanmaktadır. Kısıt (4.16-4.17) ise pozitif ve $\{0,1\}$ t değişkenleri ifade temektedir.

4.2. Uygulama

Bu bölümde ele alınan problemin, önerilen matematiksel modelin ve elde edilen sonuçların açıklanabilmesi için, Yu et al. (2012) tarafından üretilen deneysel veri seti kullanılmıştır. Veri setinde her bir işçi için birden fazla montaj görevi yapma düzeyini etkileme katsayısının (ε_i) dağılımı $N(0.01, 0.005)$ ve bir serü'da çalışan için görev sayısının üst sınır (η_i) değerinin 2 olduğu varsayımı yapılmıştır.

Deneysel veriler sırasıyla Tablo 1-5'te açıklanmıştır. Tablo 4.1, ürün tipi sayısı (n), ortalama ürün grubu boyutu ($\overline{B_m}$), her bir işçi için birden fazla montaj görevi yapma düzeyini etkileme katsayısının dağılımı ($\varepsilon_i \sim N(0.01, 0.005)$) ve bir Serü'daki çalışan için görev sayısının üst sınır (η_i) değeri verilmiştir. ε_i 'nin ayrıntılı verileri Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Deney Parametreleri

Faktör	Değer
Ürün tipi sayısı	15
Ürün grubu boyutu	20
$\overline{B_m}$	50
ε_i	$N(0.01, 0.005)$
η_i	2

Tablo 4.2. İşçilerin bir Serü içinde birden fazla görev yapma düzeyini etkileme katsayısı (ε_i)

İşçi	1	2	3	4	5	6	7	8
ε_i	0.012	0.006	0.007	0.009	0.009	0.014	0.022	0.009
İşçi	9	10	11	12	13	14	15	16
ε_i	0.005	0.013	0.005	0.012	0.003	0.016	0.013	0.012

Tablo 4.3, n ürün tipi için işçilerin ortalama beceri düzeyinin (β_{ni}) 1.01 ile 1.15 aralığında olduğunu göstermektedir. Standart sapmayı tüm ürün tipleri için 0.05 olarak sabit varsayılmıştır.

Tablo 4.3. n ürün tipinin her bir görevi için ortalama işçi beceri düzeyi (β_{ni})

Ürün Tipi	1	2	3	4	5	6	7	8
M	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06	1.07	1.08
Ürün Tipi	9	10	11	12	13	14	15	
M	1.09	1.10	1.11	1.12	1.13	1.14	1.15	

Tablo 4.4'te, işçilerin her bir ürün tipi için beceri düzeyi (β_{ni}) tek tek verilmiştir. Örneğin, ilk sütun, her çalışanın ürün tipi 1 için beceri düzeyinin dağılımını temsil etmektedir ($\beta_{ni} \sim N(1.01, 0.05)$).

Tablo 4.4. Her işçinin beceri seviyesinin ayrıntılı verileri(β_{ni})

Ürün	1	2	3	4	5	6	7
İşçi							
1	1	1	1.09	1.08	0.94	1.01	1.11
2	1.05	1.07	1	1.06	1.1	1.06	0.98
3	1	1.07	1.04	1.07	1.12	1.04	1.08
4	0.96	1.02	1.07	1.1	0.98	1.03	1.07
5	1.03	1.03	1.09	1.01	1.05	1.09	1.06
6	1	0.91	1.05	0.97	1.09	1.01	1
7	0.98	0.98	1	1.05	0.99	1.16	1.12
8	1	0.98	1.02	1.06	1.08	1	1.17
9	1.06	0.97	1.1	1.09	1.08	1.05	1
10	1.05	1.04	0.97	1.08	1	0.98	1.05
11	0.96	1.13	0.97	1.01	1.07	1.16	1.08
12	1.06	1.03	1.01	0.99	1.05	1.03	1.06
13	0.97	0.99	1.09	0.97	1.07	1.02	1.04
14	1.01	1.01	0.99	1.05	1.09	1.1	1.17
15	1	1	0.94	1.01	1.06	1.16	1.08
16	1.07	1.06	1.04	1.04	1.05	1.11	1.06

Tablo 4.4. (devam)

Ürün	8	9	10	11	12	13	14	15
İşçi								
1	1.11	1.09	1.08	1.18	1.05	1.17	1.1	1.09
2	0.98	1.05	1.07	1.1	1.16	1.14	1.11	1.15
3	1.08	1.14	1.03	1.08	1.14	1.09	1.11	1.1
4	1.07	1.04	1.05	1.11	1.1	1.15	1.16	1.15
5	1.06	1.11	1.06	1.03	1.14	1.1	1.2	1.19
6	1	1.1	1.16	1.13	1.17	1.14	1.14	1.2
7	1.12	1.15	1.14	1.13	1.13	0.99	1.15	1.14
8	1.08	1.08	1.1	1.1	1.14	1.19	1.08	1.17
9	1.03	1.01	1.01	1.15	1.14	1.13	1.29	1.15
10	1.1	1.17	1.16	1.18	1.14	1.12	1.13	1.07
11	1	1.16	1.14	1.14	1.16	1.2	1.11	1.23
12	1.12	1.17	1.14	1.09	1.08	1.13	1.1	1.18
13	1.11	1.06	1.12	1.08	1.11	1.28	1.24	1.16
14	1.1	1.05	1.15	1.12	1.1	1.07	1.07	1.24
15	1.07	1.09	1.11	1.1	1.09	1.13	1.12	1.14
16	1.05	1.03	1.06	1.07	1.08	1.12	1.15	1.11

Tablo 4.5'te, mevcut 15 ürün tipinden ilk 5 ürün tipini, 20 ürün grubuna atanarak her bir ürün grubuna ait boyut verilmiştir. Örneğin, ilk satırdaki birinci ürün grubu için ürün tipi bir ve ürün grubu boyutu 55'dir.

Tablo 4.5. Ürün grubu verileri

Ürün Grubu	Ürün Tipi	Ürün Grubunun Boyutu
1	1	43
2	4	57
3	3	47
4	5	43
5	3	39
6	2	49
7	3	37
8	1	49
9	4	57
10	5	46
11	1	63
12	5	57
13	2	55
14	3	52
15	5	53
16	3	52
17	2	43
18	4	55
19	2	52
20	1	55

Problem NP-zor olduğundan dolayı, büyük boyutlu problemleri makul bir zaman içerisinde çözmek mümkün değildir. Dolayısıyla sayısal sonuçları görmek ve analiz etmek için yukardaki tablolardan faydalanarak farklı küçük boyutlarda çeşitli sayısal örnekler çözülmüştür. Örneğin işçi sayısını 5, ürün tipi sayısını 6 ve ürün grubu sayısını 8 olarak varsaydığımızda, Tablo 4.2'de ilk 5 sütün, Tablo 4.3'de ilk 6 sütün, Tablo 4.4'de ilk 5 satır ve 6 sütün, Tablo 5.5'de ise ilk 8 satır dikkate alınmıştır.

Önerilen model, GAMS paket programı ile kodlanmış ve yapılan deneysel çalışmalar Intel (r) Core(TM) i7-7700 HQ 2.8 GHz işlemci ve 16 GB Ram özelliğine sahip bir bilgisayar sisteminde gerçekleştirilmiştir. Üretilen test problemleri COUENNE çözücüsü kullanarak çözülmüştür. Her bir test problemi için detaylı analiz aşağıda verilmiştir.

4.3. Test problem No 1

Bu test probleminde işçi sayısı 4, Seru sayısı 3, ürün tipi ve ürün grubu sayısı sırasıyla 5 ve 5 olarak dikkate alınmıştır. Modelin çözümü için gereken veriler Tablo 4.6-4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.6. İşçilerin bir Seru içinde birden fazla görev yapma düzeyini etkileme katsayısı (ϵ_i)

İşçi	1	2	3	4
ϵ_i	0.012	0.006	0.007	0.009

Tablo 4.7. İşçilerin ürün tiplerine göre beceri düzeyleri (β_{ni})

Ürün Tipi	1	2	3	4	5
İşçi					
1	1	1	1.09	1.08	0.94
2	1.05	1.07	1	1.06	1.1
3	1	1.07	1.04	1.07	1.12
4	0.96	1.02	1.07	1.1	0.98

Tablo 4.8. Ürün grubu verileri

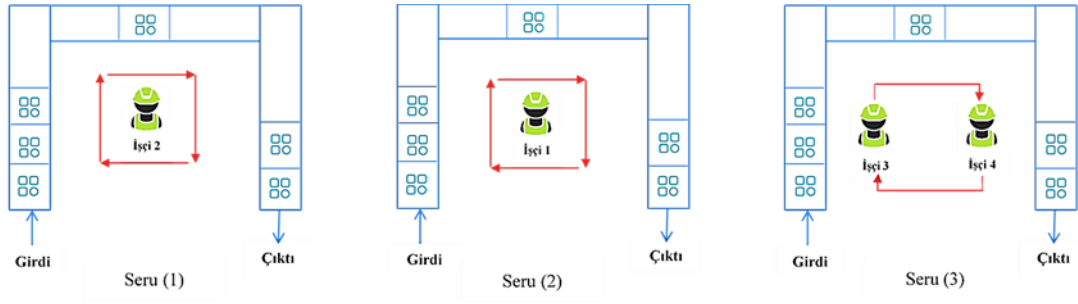
Ürün Grubu	M1	M2	M3	M4	M5
Ürün Tipi	1	4	3	5	3
B_m	43	57	47	43	49
D_m	191	297	375	499	582

Problem çözümünden elde edilen sonuçlar Tablo 4.9’da verilmiştir. Sonuçlara göre; 3. Seru’ya 2 işçi ve 3 ürün grubu atanmıştır. 1. ve 2. Serulara ise 1 işçi ve 1 ürün grubu atanmıştır. Ayrıca bir ürün grubu için akış süresi (FC_m), işleme başlama zamanı (FCB_m), tamamlanma zamanı (C_m) ve gecikme süresi (T_m) hesaplanmıştır. Toplam gecikme süresi 80.3 saat ve çözüm süresi ise 185 saniye olarak elde edilmiştir.

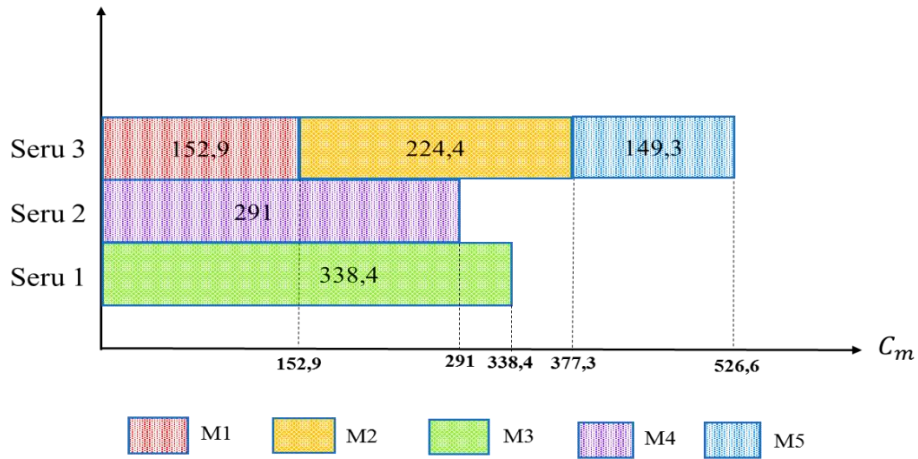
Tablo 4.9. Test problem No 1 için çözüm sonuçları

İşçi	Atandığı Seru	CW_i	Ürün Grubu	Atandığı Seru	Seru içindeki sıra	FC_m	FCB_m	D_m	C_m	T_m
1	2	1	M1	3	1	152.9	0	191	152.9	0
2	1	1	M2	3	2	224.4	152.9	297	377.3	80.3
3	3	1.007	M3	1	1	338.4	0	375	338.4	0
4	3	1.009	M4	2	1	291	0	499	291	0
			M5	3	3	149.3	377.3	582	526.6	0

Problem çözümü sonucu elde edilen Seru oluşumu ve çizelge sırasıyla Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Test problem No 1 için çözüm sonuçları



Şekil 4.2. Test Problem No 1 için Çizelgeleme

4.4. Test problem No 2

Bu test probleminde işçi sayısı için 6, SERU sayısı için 5, ürün tipi ve ürün grubu sayısı sırasıyla 5 ve 5 olarak dikkate alınmıştır. Modelin çözümü için gereken veriler Tablo 4.10-4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.10. İşçilerin bir Seru içinde birden fazla görev yapma düzeyini etkileme katsayısı (ϵ_i)

İşçi	1	2	3	4	5	6
ϵ_i	0.012	0.006	0.007	0.009	0.009	0.014

Tablo 4.11. İşçilerin ürün tiplerine göre beceri düzeyleri(β_{ni})

Ürün Tipi	1	2	3	4	5
İşçi					
1	1	1	1.09	1.08	0.94
2	1.05	1.07	1	1.06	1.1
3	1	1.07	1.04	1.07	1.12
4	0.96	1.02	1.07	1.1	0.98
5	1.03	1.03	1.09	1.01	1.05
6	1	0.91	1.05	0.97	1.05

Tablo 4.12. Ürün grubu verileri

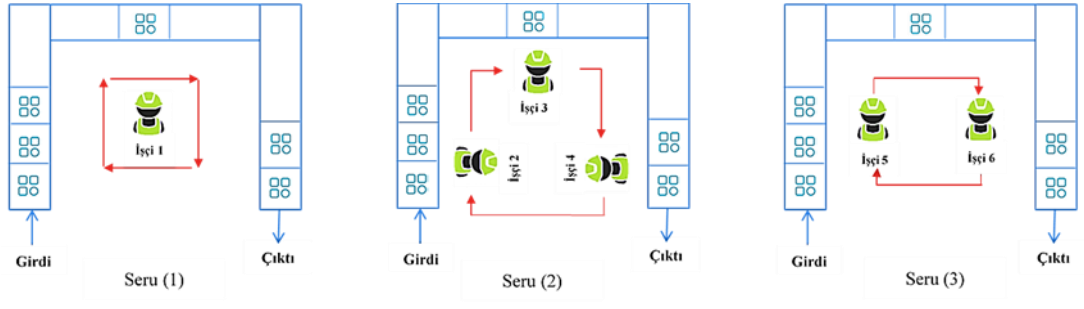
Ürün Grubu	M1	M2	M3	M4	M5
Ürün Tipi	1	4	3	5	3
Ürün Grubu Boyutu (B_m)	43	57	47	43	49
Ürün Grubu Teslim Tarihi (D_m)	191	297	375	499	582

Problem çözümünden elde edilen sonuçlar Tablo 4.13'te verilmiştir. Sonuçlara göre 3 adet Seru açılmıştır. 1. Seru'ya 1 işçi ve 1 ürün grubu, 2. Seru'ya 3 işçi ve 3 ürün grubu ve 3. Seru'ya ise 2 işçi ve 1 ürün grubu atanmıştır. Ayrıca her bir ürün grubu için akış süresi (FC_m), işleme başlama zamanı (FCB_m), tamamlanma zamanı (C_m) ve gecikme süresi (T_m) hesaplanmıştır. Toplam gecikme süresi ise 7.7 saat ve çözüm süresi ise 7201 saniye olarak elde edilmiştir.

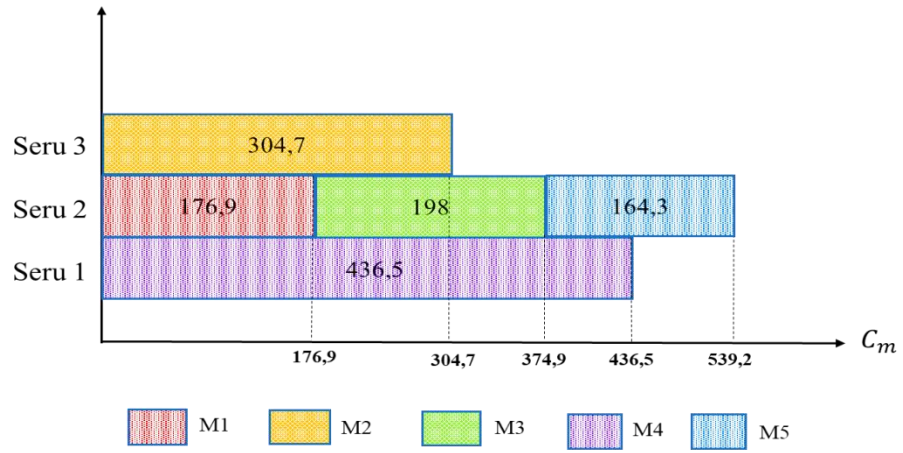
Tablo 4.13. Test problem No 2 için çözüm sonuçları

İşçi	Atandığı Seru	Cw_i	Ürün Grubu	Atandığı Seru	Seru içindeki sıra	FC_m	FCB_m	D_m	C_m	T_m
1	1	1	M1	2	1	176.9	0	191	176.9	0
2	2	1.385	M2	3	1	304.7	0	297	304.7	7.7
3	2	1.007	M3	2	2	198	176.9	375	374.9	0
4	2	1.009	M4	1	1	436.5	0	499	436.5	0
5	3	1	M5	2	3	164.3	374.9	582	539.2	0
6	3	1								

Problem çözümü sonucu elde edilen Seru oluşumu ve çizelge sırasıyla Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Test problem No 2 için Seru oluşumu



Şekil 4.4. Test problem No 2 için çizelgeleme

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

İmalat sistemlerinin çeşitli yenilikleri arasında, montaj hattının serü üretim sistemine dönüştürülmesi son yıllarda hem akademik çalışmalarda hem de üretim uygulamalarında büyük ilgi çekmektedir. Özellikle son 10 yılda bu alanda araştırmalar yapıldığı görülmektedir. Bununla birlikte, bu alandaki araştırma nispeten eksiktir. İngilizce literatür bile az iken, Türkçe literatürde ise serü üretim sistemi çok yenidir. Bu çalışma, hat-serü dönüşümü problemi üzerinde yapılan öncü çalışmalardan biridir.

Serü ile ilgili geçmiş çalışmalara bakıldığında hat-Serü dönüşümü ve çizelgeleme problemleri ayrı ayrı ele alınıp çözüldüğü görünmektedir. Bu çalışma kapsamında, literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak iki farklı problem bir bütün halinde ele alınarak bir karma tamsayılı matematiksel model önerilmiştir. Modelin amacı; Toplam gecikmeyi minimize edecek şekilde işçi ve ürün gruplarının Serülere atanması, her Serü'da atanan ürün gruplarının sıralanması ve çizelgelenmesidir. Modelin çalıştığını göstermek için test problem No 1 ve test problem No 2 olmak üzere iki test problemi çözülmüştür. Test problemi No 1 için işçi sayısı dört, serü sayısı üç, ürün tipi beş ve ürün grubu sayısı beş; test problemi No 2 için ise işçi sayısı altı, serü sayısı beş, ürün tipi beş ve ürün grubu sayısı beş olarak belirlenmiştir. Önerilen model GAMS paket programında kodlanmış ve probleme COUENNE çözücü ile Intel (r) Core(TM) i7-7700 HQ 2.8 GHz işlemcili, 16 GB RAM'li bir bilgisayarda çözüm aranmıştır. Test problem No 1 için, 185 saniyede; Test problem No 2 için ise 7201 saniyede çözüm elde edilmiştir. Elde edilen çözümler, işçileri ve ürün gruplarını uygun Serülere atayıp ve toplam sipariş gecikmesini minimize etmiştir.

Test problemlerin çözümünden elde edilen sonuçlara göre, test problem No 1'de minimum sipariş gecikme süresi 80.3 saat olarak tespit edilmiştir. Aynı zamanda 1. Serü'ya bir işçi ve bir ürün grubu; 2. Serü'ya bir işçi ve bir ürün grubu; 3. Serü'ya ise iki işçi ve üç ürün grubu atanmıştır. Birden fazla ürün grubu atanan Serü'da (3.Serü), ürün grupları arası sıra M1-M2-M5 şeklinde elde edilmiş ve çizelgelenmiştir. Test problem No 2'de ise minimum sipariş gecikmesi 7.7 saat olarak hesaplanmıştır.

Bir diğerk çözüm sonucu olarak 1. Seru'ya ve bir işçi ve bir ürün grubu; 2. Seru'ya üç işçi ve üç ürün grubu; 3. Seru'ya ise iki işçi ve bir ürün grubunun atanmıştır. Ayrıca birden fazla ürün grubu atanana seruda (2. Seru) ürün grupları arası sıralama, M1-M3-M5 şeklinde belirlenmiş ve çizelgeleme yapılmıştır.

Analiz sonuçları, önerilen matematiksel modelin test problemleri üzerinde doğruluğunu ortaya koymuştur. Bu çalışma gelecek çalışmalar için iyi bir başlangıç noktası olarak farklı yönlerde genişletilebilir. İlerideki araştırmalar için bazı öneriler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Bu çalışma montaj temelli üretim yapan işletmelere uygulanabilir ve sonuçlar benzetim çalışmaları ile karşılaştırılabilir.
- Saf Seru üretim sistemi üzerine yapılmış olan bu çalışma Seru ve kısa montaj hattından oluşan hibrit Seru üretim sistemi için de yapılabilir.
- Hat-Seru dönüşümü ve Seru çizelgeleme problemleri NP-zor problemlerdir, bu çalışmanın devamında orta ve büyük boyutlu problemleri makul sürede çözmek için sezgisel veya meta sezgisel yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir.
- Orta ve büyük ölçekli problemler, Benders ayrıştırma algoritması ile makul süreler içinde çözümlenip sonuçlar montaj hattı ile karşılaştırılabilir.

KAYNAKÇA

- Akino, S. (1997). Internationalization of Japanese Company and Change of Production System (III). *Rikkyo Economic Review*, 51(1), 29-55.
- Baykoç, Ö. F., Abacı, S., & Duyar, M. (2002). Tam zamanında üretim sisteminin servis sistemlerine uygulanabilirliği. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(4), 139-155.
- Çalışkan, E., İşleyen, S. K., & 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.
- Çilhoroz, Y., & Arslan, İ. (2018). Yalın yönetim yaklaşımı ve sağlık hizmetlerinde uygulamaları. *Journal of Suleyman Demirel University Institute of Social Sciences*, 32(1).
- Çoruh, E. (2010). Production system approaches for readymade garment industry. *Tekstil ve Mühendis*, 17(80).
- Demirkol, İ. (2020). Yalın üretim, sürdürülebilirlik ve firma performansı ilişkisi üzerine bir araştırma. *Third Sector Social Economic Review*, 55(1), 58-75.
- Edralin, D. M. (2008). Innovative human resource management (HRM) practices as predictors of employee job involvement and organizational commitment. *Asian Journal of Technology Innovation*, 16(2), 67-81.
- Erozan, İ. (2017). *Geleneksel ve modern üretim sistemleri*. Kütahya: Monopol Kitapevi.
- Ertay, T., & Ruan, D. (2005). Data envelopment analysis based decision model for optimal operator allocation in CMS. *European Journal of Operational Research*, 164(3), 800-810.
- Gökşen, Y., & Erdem, S. (2003). Hücreli üretim sisteminde makine-parça ailelerinin oluşturulmasında dengeli talep-kapasite ve dengesiz talep-kapasite durumunun analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18(2), 99-111.
- Gönen, S., & Çelik, M. (2004). Esnek üretim sistemleri uygulayan işletmelerde üretim maliyetlerinin değerlendirilmesi. *Ege Akademik Bakış Dergisi*, 4(1), 133-143.
- Güç, D. (2019). *Japon üretim tarzı ve endüstri ilişkileri*. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri Anabilim Dalı Çalışma Ekonomisi Bilim Dalı, İstanbul.
- Imaoka, Z. (2005). Seventy points for understanding seru seisan by figure. *Tokyo: Kogyo Tyousakai (En japonés)*.
- Iwamuro, H. (2004). An easy book about seru production. *Nikkan Kogyo Shimbun*.
- Jiang, B., & Willette, W. (2004). Why giants change their minds. *Asian Case Research Journal*, 8(1), 37-56.
- Johnson, D. J. (2005). Converting assembly lines to assembly cells at sheet metal products: Insights on performance improvements. *International Journal of Production Research*, 43(7), 1483-1509.
- Kaku, I. (2017). Is seru a sustainable manufacturing system? *Procedia Manufacturing*, 8, 723-730.
- Kaku, I., Gong, J., Tang, J., & Yin, Y. (2008). A mathematical model for converting conveyor assembly line to cellular manufacturing. *Industrial Engineering and Management Systems*, 7(2), 160-170.

- Kaku, I., Gong, J., Tang, J., & Yin, Y. (2009). Modeling and numerical analysis of line-cell conversion problems. *International Journal of Production Research*, 47(8), 2055-2078. doi:10.1080/00207540802275889
- Kamrani, A. K., Parsaei, H. R., & Leep, H. R. (1995). A simulation approach for cellular manufacturing system design and analysis. In *Manufacturing Research and Technology* (Vol. 24, pp. 351-381): Elsevier.
- Kanat, S., & Güner, M. (2006). Tam zamanında üretim sisteminin tekstil ve konfeksiyon sanayine uygulanabilirliği. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 16(4), 274-278.
- Karaca, M. K. (1996). Montaj Hatları. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1(1).
- Kazan, H., & Günlük, M. (2006). Esnek üretim sisteminde modüler imalatın işletmeler ve müşteriler açısından önemi üzerine bir araştırma. *Verimlilik Dergisi*(1), 9-30.
- Lian, J., Liu, C., Li, W., & Yin, Y. (2018). A multi-skilled worker assignment problem in seru production systems considering the worker heterogeneity. *Computers & Industrial Engineering*, 118, 366-382.
- Liker, J. K. (2004). *Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. Boston: McGraw-Hill Education.
- Liu, C., Dang, F., Li, W., Lian, J., Evans, S., & Yin, Y. (2015). Production planning of multi-stage multi-option seru production systems with sustainable measures. *Journal of Cleaner Production*, 105, 285-299. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.033>
- Liu, C., Li, W., Lian, J., & Yin, Y. (2012). Reconfiguration of assembly systems: From conveyor assembly line to serus. *Journal of Manufacturing Systems*, 31(3), 312-325. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2012.02.003>
- Liu, C., Lian, J., Yin, Y., & Li, W. (2010). Seru Seisan- an innovation of the production management Mode in Japan. *Asian Journal of Technology Innovation*, 18(2), 89-113.
- Liu, C., Stecke, K. E., Lian, J., & 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., & Yin, Y. (2013). Training and assignment of multi-skilled workers for implementing seru production systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 69(5), 937-959. doi:10.1007/s00170-013-5027-5
- Luo, L., Zhang, Z., & Yin, Y. (2016). *Seru loading with worker-operation assignment in single period*. Paper presented at the 2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), Bali, Indonesia.
- 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.
- Molleman, E., & Slomp, J. (1999). Functional flexibility and team performance. *International Journal of Production Research*, 37(8), 1837-1858.
- Örnek, U. (2007). *Orta ölçekli uluslararası bir firmada stratejik ve operasyonel karar alma süreçlerinin bilgisayar ortamında desteklenmesi*. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, İzmir.
- Özçelik, T. Ö. (2017). *İmalat sistemleri ve stratejileri ders notları*. Sakarya Üniversitesi.
- Özkıran, A., & Düşünür, H. (2011). *Otomotiv sektöründeki bir işletmede montaj hattının analizi ve dengeleme çalışması*. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, İzmir.

- Öztürk, Ö. (2013). Bir otomobil fabrikasının şanzuman üretim bölümü için hücreli üretim sistemi önerisi. *Anadolu University Journal of Social Sciences*, 13(4), 77-99.
- Powell, B. (2002, 4 March). China shock: it's all made in China now the nation's rapid ascent up the technology ladder as huge consequences for the global economy. *Fortune*.
- Sakamaki, H. (2006). *The change of consciousness and company by cellular manufacturing in Canon way*. Paper presented at the Japan Management Association Management Center, Tokyo.
- Sakazume, Y. (2005). Is Japanese Cell Manufacturing a New System?: A Comparative Study between Japanese Cell Manufacturing and Cellular Manufacturing. *Journal of Japan Industrial Management Association*, 55(6), 341-349.
- Saklı, A. R. (2013). Fordizm'den esnek üretim rejimine dönüşümün kamu yönetimi üzerindeki etkileri. *Electronic Journal of Social Sciences*, 12(44), 107-131.
- Sarı, E. B. (2020). *Seru üretim sistemi Japon hücreli imalat sistemi* Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Schmenner, R. W., & Swink, M. L. (1998). On theory in operations management. *Journal of Operations Management*, 17(1), 97-113.
- Sert, M., & Kesen, S. E. (2019). Tam zamanında üretim felsefine dayalı bir seri üretim hattının simülasyon tekniğiyle performans analizi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(1), 115-134.
- Sever, L. (2004). *Esnek üretim sistemlerine geçiş süreci ve bir uygulama*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İşletme Mühendisliği, İstanbul.
- Sezgin, Ş. (2001). *Hücreli imalat ve bir uygulama*. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Üretim Bilim Dalı, İstanbul.
- Shao, L., Zhang, Z., & Yin, Y. (2016). A bi-objective combination optimisation model for line-seru conversion based on queuing theory. *International Journal of Manufacturing Research*, 11(4), 322-338.
- Shao, L., Zhang, Z., & Yin, Y. (2017). *Production system performance improvement by assembly line-seru conversion*. Paper presented at the Proceedings of the Tenth International Conference on Management Science and Engineering Management, Singapore.
- Singh, S. (2017, 9 July). *A study on seru production system*. Paper presented at the 3rd International Conference on Emerging Technologies in Engineering, Biomedical, Management and Science, Jodhpur- India.
- Stecke, K. E., Yin, Y., & Kaku, I. (2014). Seru production: an extension of just-in-time approach for volatile business environments. In M. Tavana (Ed.), *Analytical Approaches to Strategic Decision-Making: Interdisciplinary Considerations* (pp. 45-58). USA: IGI Global.
- Stecke, K. E., Yin, Y., Kaku, I., & Murase, Y. (2012). Seru: the organizational extension of JIT for a super-talent factory. *International Journal of Strategic Decision Sciences (IJSDS)*, 3(1), 106-119.
- Sun, W., Li, Q., Huo, C., Yu, Y., & Ma, K. (2016). Formulations, features of solution space, and algorithms for line-pure seru system conversion. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016, 14.
- Sun, W., Wu, Y., Lou, Q., & Yu, Y. (2019). A cooperative coevolution algorithm for the seru production with minimizing makespan. *IEEE Access*, 7, 5662-5670.

- Sun, W., Yu, Y., Lou, Q., Wang, J., & Guan, Y. (2019). Reducing the total tardiness by Seru production: model, exact and cooperative coevolution solutions. *International Journal of Production Research*, 58(21), 6441-6452.
- Tanyaş, M., & Baskak, M. (2003). *Üretim planlama ve kontrol*: İstanbul: İrfan Yayıncılık.
- Tekin, M., Arslandere, M., Etlioğlu, M., & Tekin, E. (2018). Büyük ölçekli bir işletmede 5S uygulaması. *International Journal of Social And Humanities Sciences*, 2(1), 106-122.
- Tüzemen, A. (2020). Yeni bir üretim sistemi: Seru. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 21(2), 334-351.
- Ünsar, S. (2007). Uluslararası işletmelerde üretim stratejileri. *Journal of Yaşar University*, 2(7), 695-708.
- Vargün, H. (2009). Tam zamanında üretim modeline göre maliyetlerin izlenebilirliği. *Journal of Accounting & Finance*(44).
- Wang, Y., & 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.
- Wu, L., Chan, F. T., Niu, B., & 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.
- Yıldız, A. (2018). Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 546-556.
- Yılmaz, Ö. F. (2020). Operational strategies for seru production system: a bi-objective optimisation model and solution methods. *International Journal of Production Research*, 58(11), 3195-3219.
- Yin, Y., Kaku, I., & Stecke, K. (2008). The evolution of seru production systems throughout Canon. *Operations Management Education Review*, 2(1), 27-40.
- Yin, Y., Stecke, K. E., & 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., Stecke, K. E., Swink, M., & Kaku, I. (2017). Lessons from seru production on manufacturing competitively in a high cost environment. *Journal of Operations Management*, 49-51, 67-76.
- Ying, K.-C., & 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., Gong, J., Tang, J., Yin, Y., & Kaku, I. (2012). How to carry out assembly line-cell conversion? A discussion based on factor analysis of system performance improvements. *International Journal of Production Research*, 50(18), 5259-5280.
- Yu, Y., Sun, W., Tang, J., Kaku, I., & 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., & Tang, J. (2019). Review of seru production. *Frontiers of Engineering Management*, 6(2), 183-192.
- Yu, Y., Tang, J., Gong, J., Yin, Y., & Kaku, I. (2014). Mathematical analysis and solutions for multi-objective line-cell conversion problem. *European Journal of Operational Research*, 236(2), 774-786. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.01.029>

- Yu, Y., Tang, J., Sun, W., Yin, Y., & Kaku, I. (2013). Reducing worker (s) by converting assembly line into a pure cell system. *International Journal of Production Economics*, 145(2), 799-806.
- Yu, Y., Wang, S., Tang, J., Kaku, I., & 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), 1-26.
- Zwierzyński, P., & Ahmad, H. (2018). Seru production as an alternative to a traditional assembly line. *Engineering Management in Production and Services*, 10(3), 62-69.

ÖZ GEÇMİŞ

Melis Haliloğlu, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği bölümünden 2017 yılında mezun oldu.

İletişim Bilgileri

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0687-2451>

Yayınlanmış Çalışmalar:

1. Haliloğlu, Melis, and Mehmet Serhat Odabaş. "Çok ölçütlü karar vermede ahp yöntemi." Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi 2, no. 2 (2018): 13-18.