

YENİ BİR ÜRETİM SİSTEMİ: SERU

Adem TÜZEMEN¹

ÖZET

Bu çalışma, 90'lı yılların ortalarından itibaren montaj temelli çalışan işletmelere uygulanmaya başlanan yeni bir üretim sistemi olan seru sistemini tanıtmaktadır. Uluslararası literatürde çok fazla yaygın olmayan bir konu olan seru, ulusal literatüre de ilk kez bu çalışma ile girmektedir. Çalışmada seru üretim sisteminin doğuşu, anlamı, türleri, yararları ve matematiksel modellemesi tanımlanmaktadır. Geleneksel montaj hattının sökülüp nasıl seru sistemine dönüştürüldüğü de detaylı olarak anlatılmıştır. Bu araştırma, hali hazırda geleneksel montaj hattını kullanan işletmelerde uygulanabilmesi için bulundurulması gereken temel özellikleri anlatarak, bundan sonra yapılacak uygulamalı çalışmalara da ön ayak olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Üretim Sistemleri, Montaj hattı, Seru Üretim Sistemi.

A NEW PRODUCTION SYSTEM: SERU

ABSTRACT

This study presents the seru system, a new production system that has been applied to assembly-based enterprises since the mid-90s. Seru, which is not a very common topic in international literature, is first included in the national literature with this study. In this study, the birth, meaning, types, benefits and mathematical modelling of the seru production system are defined. How to dismantle the traditional assembly line and turn it into a seru system is also explained in detail. This research is thought to lead the way to the practical works by explaining the basic features that should be kept so as to be applied in the enterprises using the traditional assembly line.

Keywords: Production Systems, Assembly line, Seru Production System.

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Üretim Yönetimi ve Pazarlama ABD, Tokat, adem.tuzemen@gop.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-5786-2686

GİRİŞ

1900'lü yıllardan itibaren üretim yapan her işletme müşteri gereksinimlerini maksimum seviyede tatmin edebilmek için çeşitli atılımlar yapmışlardır. Özellikle montaj temelli çalışan işletmeler ürünleri en kısa sürede çıkartmayı ve müşterilerine minimum zamanda ulaştırmayı amaçlamışlardır. Montaj temelli işletmeler, Ford'un geleneksel tek, uzun ve hareketli hattından yola çıkarak ürünlerini montajlayıp nihai ürün haline getirmektedirler. Ancak geleneksel montaj hattının dışında 1990'lı yılların ortalarında tasarlanan yeni bir üretim sistemi önemli Japon markalarının üretilmesinde uygulanmıştır. Bu yeni üretim sistemi seru olarak tanımlanmaktadır. Japon menşeli yeni bir üretim sistemi olan seru, ilk olarak Japon markaları olan Canon ve Sony ürünlerinin üretimleri için tasarlanmıştır. Geleneksel montaj hattının ürün sadece ürün odaklı olmasından ziyade seru üretim sisteminde ilk planda çalışan işçi ve ürün aynı odak noktasında yer alarak sistem yürütülmektedir.

Çalışan odaklı işleyen bu yeni üretim sisteminde işçilerin yetenekleri ve yaptıkları işe olan yatkınlıkları, onların montaj hattının hangi konumunda yer alacağını ortaya koymaktadır. Bu sistemde orta seviye kabiliyetli çalışanların üretim hattında durması kabul edilebilir bir hamle değildir. Üretim hattında çalışan işçilerin yaptıkları iş için biçilmiş kaftan olmaları gerekir. Aksi takdirde o çalışanların yeterli seviyeye gelene kadar eğitilmesi gerekmektedir. Seru sisteminin uygulanabilmesi için geleneksel uzun hattın sökülüp kısa hatlarla hücreli şekilde yeniden tasarlanması gerekir. Ayrıca *seru* Japonca bir kelime olup *hücre* anlamına gelmektedir. Seru sisteminin montaj hattı ile üretim yapan bir işletmeye uygulanabilmesi için de en önemli adımın birkaç montaj işlemini ardı ardına yapabilecek kadar kalibreli çalışanların istihdam edilmesi gerekir. Çünkü seru türleri çalışanların yeteneklerine göre türlerine ayrılmaktadır. Bu türler birinci bölümde detaylı bir şekilde tanımlanmaktadır. Geleneksel uzun montaj hattının seru üretim sistemine dönüştürülmesinden sağlanacak en büyük yarar üretim hızıdır. Uzun hatta oluşabilecek gecikmeleri yok sayarak iyi eğitilmiş çalışanlarla çıktı sayısı oldukça artmaktadır. Bununla birlikte sağlanan yararlar da maliyetten tasarruf, kurulum düzeninin genişlemesi ve envanter düzeylerinin düzenli hale gelmesi gibi tanımlanabilir.

Seru üretim sisteminin dünya literatüründe henüz genişlememiş yani Japonya dışına çok fazla taşınmamış bir bölüm olarak söylenebilir. Parmakla sayılabilecek kadar seru temelli akademik araştırma olduğundan dolayı bu çalışma Türkçe literatür açısından önemli bir konumda yer almaktadır. Türkçe literatürdeki ilk seru temelli bu çalışma, seru sisteminin ne anlama geldiğini, ilk uygulamaları, yararlarını, yapılan çalışmaları, varsayımlarını ve matematiksel modellemesini sunmaktadır.

Araştırmanın ilk bölümünde seru üretim sisteminin ne anlama geldiği, yararları, türleri ve hangi alanlarda uygulandığı açıklanmaya çalışılmıştır. İkinci bölümde seru temelli akademik araştırmalar detaylı olarak tanımlanmıştır. Üçüncü bölümde de seru sisteminin varsayımları ve matematiksel modeli tanımlanmıştır.

I.SERU ÜRETİM SİSTEMİ NEDİR?

Taşıyıcı hattı ile sembolize edilen "*seri üretim*" tüm dünyada çok sayıda imalat işletmesi tarafından yaygın olarak benimsenen bir tür evrensel üretim yönetimi yöntemidir. Taşıyıcı hattın uzun geçmişi ve popülerliği, insanların zihinlerine kazınmasında etkin rol oynamıştır. Taşıyıcı hattının imalat endüstrisinde özellikle son montaj işlemlerinde uygulanması, sürekli bir düşünme modeli haline gelmiştir. Dolayısıyla, insanlar Japonya'da yüksek performanslı bir üretim yönetimi yönteminin yükseldiğini ve taşıyıcı hattının kademeli olarak bazı üretim alanlarında yer aldığını hayal edemiyorlardı (Liu vd., 2010: 90).

Seru üretim sistemi, üretimin yenilikçi bir şeklidir. Taşıyıcı montaj hatlarına dayalı bir sistem olarak tanımlanabilir. İş yerinin esnekliğini ve taşıyıcı montaj hattının verimliliğini bir dereceye kadar birleştirir. Sony'de tasarlanan line-cell (veya line-seru) dönüşümü, Japon elektronik endüstrisinde yaygın olarak kullanılan montaj sisteminin bir yeniliği olmuştur. Çalkantılı bir pazarda rekabet

edebilmek için 1992'de uzun bir montaj taşıyıcı hattın sökülmesinden sonra, Sony'nin 8 milimetre CCD-TR55 video kamerası için video kamera fabrikalarından birinde birkaç mini montaj ünitesi oluşturuldu. Orijinal taşıyıcı hatta olduğu gibi, her bir mini montaj birimi tüm ürünü üretti. 1994 yılında eski bir Sony personeli olan Tatsuyoshi Kon, hücresele organizma için Japonca bir kelime olan bu mini montaj organizasyonunu Seru² olarak tanıtmıştır (Yu vd., 2014: 775). Seru üretim sisteminin ortaya çıkmasında dönemine ait çeşitli üretim odaklı konjonktürel dalgalanmalar yaşanmıştır. Ortaya çıkışındaki nedenler şu şekilde sıralanabilir (Villa ve Taurino, 2013: 959):

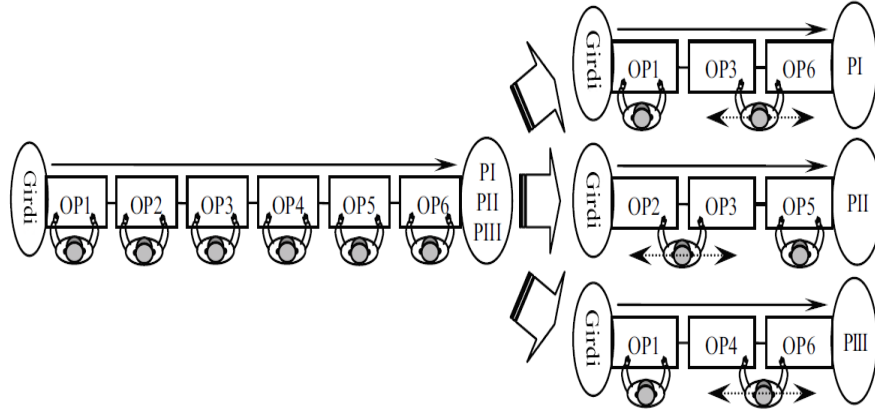
- Müşteri gereksinimleri,
- Bir montaj hattının düşük esnekliği,
- 1991'den sonra Japonya'da uzun bir durgunluk dönemi,
- Geleneksel üretim hatlarında çalışan çalışanların düşük morali,
- Toyota Üretim Sistemi (TPS) kısıtlamaları,
- Küreselleşme ve artan rekabet.

Seru üretiminin üretim endüstrisinde uygulanmaya başlanmasından sonra Canon, Sony, Panasonic, Fujitsu, NEC ve Hitachi gibi bazı Japon imalat devleri üretimde büyük avantajlar yakalamışlardır. Birçok başarılı hikâyenin arasında, Canon'daki Seru üretiminin uygulanması en belirgin olanıdır. Canon, 1999'dan 2003 yılına kadar dünyadaki 54 tesisinde yaklaşık 20.000m taşıyıcı montaj hattını yeniden yapılandırdı ve ardından Seru üretim sistemlerini tamamen benimsedi. Canon, üretim sistemlerinin bu yeniden yapılandırmasına dayanarak, yüksek performanslı bir organizasyon haline geldi. Artık S sınıfı çalışanları, sadece 2 saat içerisinde 2.700 parçadan oluşan bir ürünü monte edebilecek konuma gelmişlerdir (Liu vd., 2013: 938). Sonuç olarak Hat-Seru (line-seru) dönüşümünü kullanan Canon'un maliyetleri 2003'te 55 milyar yen ve 1998'den 2003'e kadar da toplam 230 milyar yen azalmıştır. Diğer avantajlar ise üretim süresinin hızlandırılmasını, istenen çalışma saatlerinin yapılandırılmasını, iş gücünün verimliliğinin artırılmasını, kurulum süresinin minimum seviyeye çekilmesini ve envanter kontrolünün kabul edilebilir düzeylere gelmesini içermektedir (Yu vd., 2017a: 283-284). Seru üretim sistemini benimseyen Japon dünya devlerinden ikisi olan Sony ve Canon şirketlerinin kazanımları Tablo 1'deki gibi özetlenebilir (Zwierzyński ve Ahmad, 2018: 64).

SONY	CANON
<ul style="list-style-type: none"> • Verimlilik arttırılmıştır. • İstihdam %25 azalmıştır. • Montaj hatlarının uzunluğu 35.000 m azaltılmıştır. • Ürün kalitesi geliştirilmiştir. • Dönüşümle birlikte aktif üretim alanından 710.000 metrekare azaltılmıştır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verimlilik arttırılmıştır. • Montaj hatlarının uzunluğu 20.000 m azalmıştır. • Gerekli alan 720.000 metrekare azaltılmıştır. • İstihdam %25 azalmıştır. • Maliyetler 230 milyar yen kadar azalmıştır. • Sipariş karşılama süresi %30 azaltılmıştır.

Basit bir seru sistemi Şekil 1'de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere, aynı üretimin iki farklı hatta işlenmektedir. Uzun taşıyıcı hattının sökülmesinden sonra, her ürün orijinal taşıyıcı hattında olduğu gibi kısa bir hat üzerinde tamamlanmaktadır. Bu şekil tam olarak bir taşıyıcı hattının nasıl söküldüğünü göstermektedir. Sürekli iyileştirme ile bu kısa hatlar giderek kısalmakta ve yerleşim düzenlerinde sürekli yenilikler yapılmaktadır (Yin vd., 2006: 97-98)

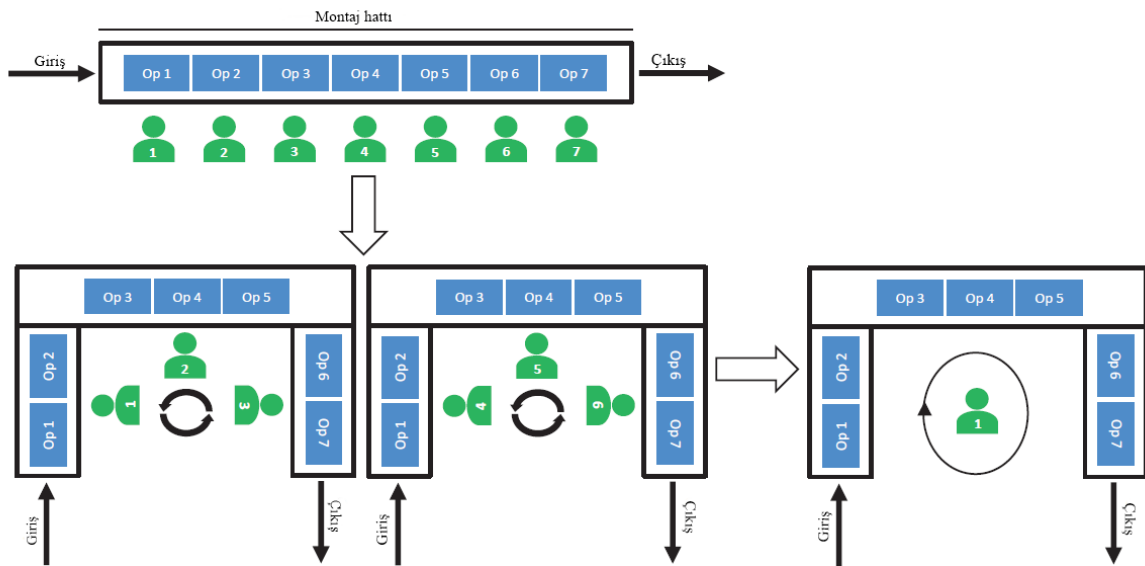
² Seru; Japoncada "hücre" anlamına gelmektedir.



Şekil 1: Kısa Bölümlere Ayrılmış Uzun Bir Hat

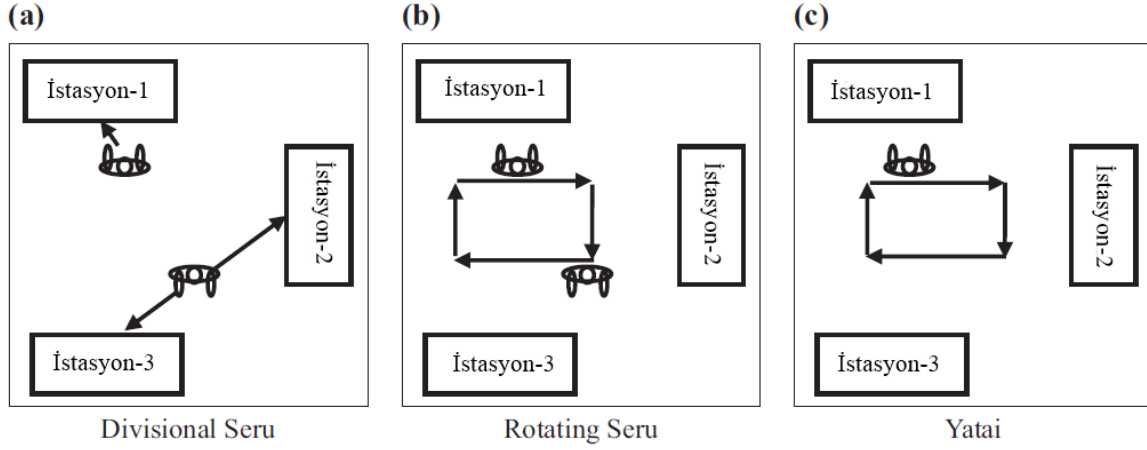
Kaynak: (Yin vd., 2006: 97-98)

Seru üretim kavramı, Batı endüstrilerinde yaygın olarak kullanılan bir montaj sistemi olan montaj hücrelerine benzemektedir. Seru üretim sisteminde hücre, üretime göre ekipman, makine ve alet kullanım şekli ve yöntemi daha az önemli konumda yer almaktadır. İnsana odaklanan bir montaj sistemi olarak tanımlanan bir seru hücresi bir ustanın bağımsız olarak tüm ürünü baştan sona monte ettiği geleneksel bir mantaliteye sahip bir organizasyon olarak düşünülebilir. Seru konseptine göre üretim sistemi, yalın ve seri modellerin ideal bir kombinasyonu olduğu görülmektedir. Seru üretim konseptinin ana varsayımlarından biri, geleneksel bir üretim hattı, sonunda tek çalışan ile hücrelerin oluşturulmasına doğru giden birçok kısa hatta dönüştürmektir. Hücre üretiminin Japon versiyonu, Toyota üretim sistemine bir alternatif olarak geliştirilmiştir. Bir peynir üretim hattının dönüşümünün bir örneği, Şekil 2'de verilmiştir. Geleneksel bir montaj hattını söküp seru hücreleri oluşturarak, çalışan sayısını azaltıp verimliliği arttırmak mümkün kılınmaktadır. Japon menşeli bu üretim sistemi, seru hücrelerinin ucuz, tekrarlanabilir ve birçok iş için uygun olması gerektiğini varsaymaktadır. Ayrıca seru hücreleri, ürün yelpazesine bağlı olarak farklı üretimlere kolayca adapte olabilmektedir (Zwierzyński ve Ahmad, 2018: 64-65).



Şekil 2: Montaj Hattının Seru Hücrelerine Dönüşümü

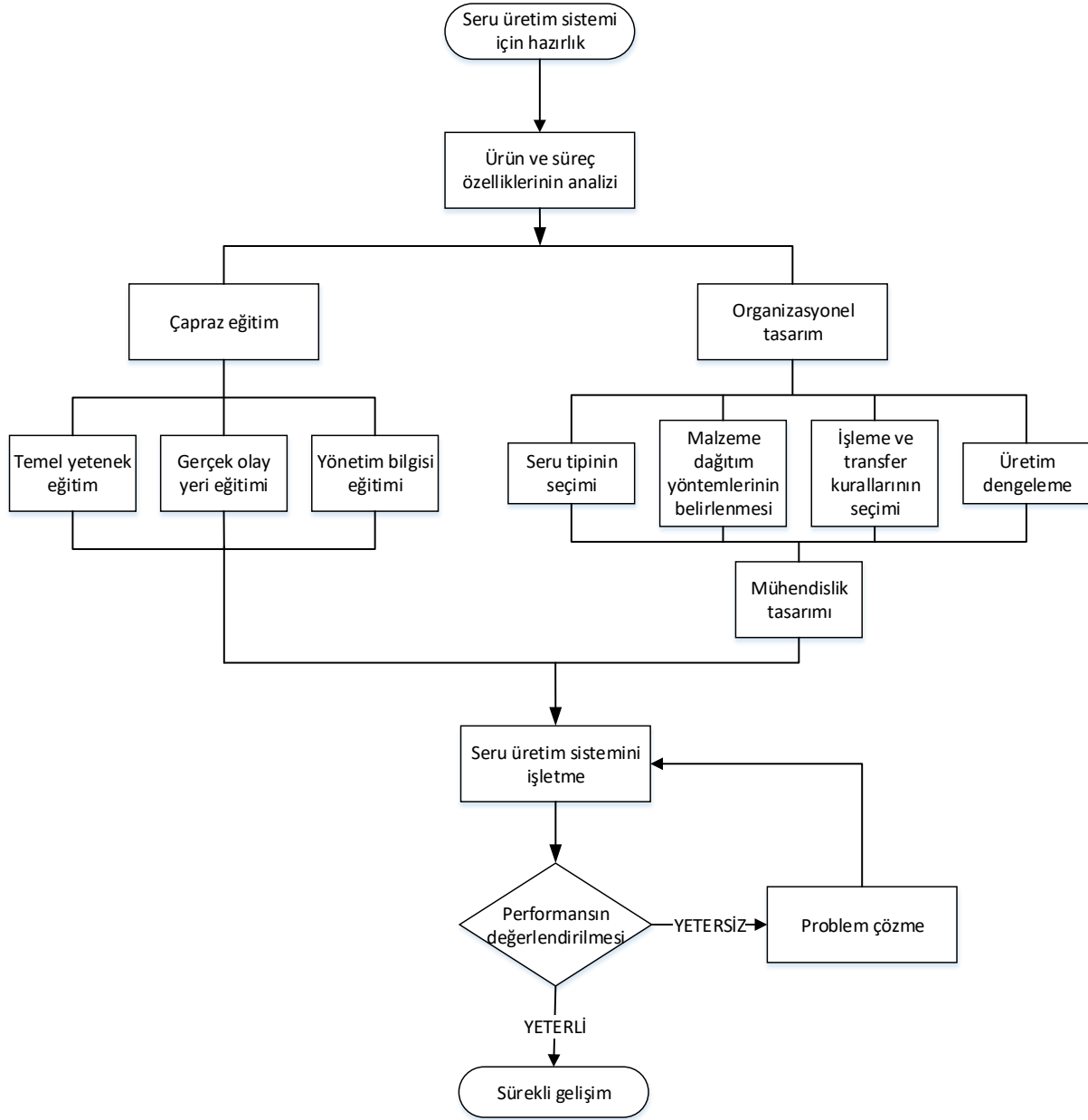
Bir seru sistemi bir veya daha fazla seru (serus) içerebilir. Seru sistemi işçilerin yeniden yapılandırılmasıyla montaj hattından daha iyi performans alınabilir (Stecke vd., 2012: 108). Seru üretim sistemi bölümsel seru (divisional seru), dönen seru (rotating seru) ve Tek çalışanlı (yatai) olarak üç farklı türde tasarlanmıştır (Yu vd., 2016: 2).



Şekil 3: Seru Türleri

(Not: (a) Bölümsel seru; (b) Dönen seru; (c) Yatai)

Şekil 3 incelendiğinde; *bölümsel seru* içinde, görevler yetenekleri ve görev süreleri bakımından birkaç işçiye paylaştırılmıştır. İşçiler bir ya da birkaç ayrık ya da ardışık görevi tamamlamak için iş istasyonları arasında iş birliği yapar ve bu onlara hız katar. *Dönen seru* o işte tam eğitilmiş birkaç işçi içerir. Bu bölümde tüm çalışanlar, tüm görevleri baştan sona kesmeden yerine getirmeli ve girişin seru çıkışına doğru art arda hareket etmelidir. Bir *yatai*, tek bir işçi ile özel bir dönen seru sistemidir. En küçük kapsamlı fakat en üstün ve verimli seru üretim sistemi türüdür. Bu nedenle tek bir işçinin teknik olduğu kadar yönetsel açıdan da tam olarak eğitilmiş (çapraz eğitilmiş) olması gerekir. Yani çapraz eğitilmiş işçi, bir seru üretim sisteminin uygulanmasındaki ana sorunlardan biridir. Seru üretim sistemi üzerine yapılan araştırmaların çoğu, seru üretiminin ne olduğuna dair teorik yorumlamaya yoğunlaşmıştır veya montaj hattının bir seru sistem kümesine dönüştürülmesine odaklanmıştır (Wu vd., 2018: 1116). Seru üretim sisteminin temel akış diyagramı Şekil 3'te tanımlanmıştır (Liu vd., 2014: 5).



Şekil 3: Seru Üretim Sisteminin Akış Diyagramı

Günümüzde sürdürülebilirlik kavramı, üretim stratejilerinin önemli bir parçası haline gelmiştir. Üretimde sürdürülebilir gelişme, insan ihtiyaçlarını karşılayıp ilerlemeyi arttırırken çevreyi ve kaynaklarını korumak için çevresel korumanın ötesine geçmektedir. Gelecekteki nesillerin ihtiyaçlarını karşılayabildiğinden emin olmak için bu eylemlerin sonuçları dikkate alınmalıdır. Sürdürülebilir üretim, üretim alanında dünya çapındaki kaynak sıkıntısını gidermek, çevresel yükün fazlalığını azaltmak ve çevreye zarar vermemek için yenilikçi yöntemler, uygulamalar ve teknolojilerin geliştirilmesine ve uygulanmasına katkıda bulunan teknik ve örgütsel çözümler grubunu ifade eder. Bir montaj hattını seru tipi üretim sistemine dönüştürmek için seru üretim sisteminin özelliğini gösterecek, hangi hücrelerin biçimlendirilmesi ve her bir hücreye hangi işçilerin atanması gerektiği konusunda bir matematik modelin kurulması gerekmektedir (Fortună vd., 2011: 366-368; Kaku, 2017: 728-729). Bir seru üretim sisteminin sahip olduğu varsayımları ve matematiksel formülasyonları bu çalışmanın 3. bölümünde tanımlanmıştır.

Bununla birlikte, çapraz eğitilmiş işçi atama ve farklı seru türlerinin farklılıkları bakımından verimlilikle kıyaslanması konusundaki çalışmalar sınırlı olmakla birlikte temel çalışmalar 2. bölümde açıklanmıştır.

II. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Seru üretim sisteminin literatürde henüz yaygınlaşmamız ya da diğer bir deyişle Japonya dışında fazla yaygınlaşmamız bakir bir üretim sistemi olarak tanımlanabilir. O yüzden seru temelli yapılan öncü çalışmalar bu bölümde açıklanmaya çalışılmıştır.

Isa ve Tsuru (2002) bu çalışmada, Seru üretim sistemini çok vasıflı işçileri temel alarak hat düzeltilmesi için uygulamışlardır. Uygulamanın gerçekleştirilmesi adına işletmenin performans belirleyicilerini; operasyon kar oranları, verimlilik, esneklik, hat dengesi, çalışma saatleri, WIP stokları, ürün karışımlarını ayarlama esnekliği ve hacimleri, kurulum süresi, kalite, pazar payı ve durumu, hattın bakımı ve çalışan sayısı olarak belirlemişlerdir. Çalışmanın sonucunda elde edilen bulgularda seru üretim sisteminin büyük ve geniş bir iş performansı üzerinde olumlu etkiler yapabildiğini, faaliyet karı oranlarının ve olağan karların sürekli olarak ürün parti büyüklüklerine göre artarak ilerleyeceğini saptamışlardır.

Jonsson vd. (2004) yaptıkları bu çalışmada, seru üretim sistemini hayata geçirebilmek için deneysel bir yaklaşımla yerleşim düzeni, çok vasıflı işçiler, geliştirilmiş ekipman, özerk çalışma grupları gibi organizasyon süreçlerinden yararlanmışlardır. Bu uygulamanın temelinde yer alan performans belirleyicileri; üretim hacminde esneklik ve değişim, pazara çıkış zamanı, teslimat zamanı, üretim süresi, özelleştirilmiş seviye, üretim maliyetleri, alan kullanımı, çalışma saati, ürün kalitesi, kaynaklar olarak belirlemişlerdir. Çalışmanın sonucunda elde ettikleri bulgular da geliştirilmiş işçi-saat üretkenliği ve ürün kalite-ergonomi olarak tespit etmişlerdir.

Johnson (2005) yapmış olduğu çalışmada, simülasyon tekniğinden yararlanarak seru dönüşüm modelini örnek bir hatta uyarlayarak çapraz eğitilmiş çalışanları temel odak noktalarına almıştır. Uygulamanın oluşturulmasında performans faktörlerini; teslimat süreleri, esneklik, kurulum ve taşıma süresi, kalite, maliyet, süreç içi bekleme süresi, çıktı, üretim süresi, WIP envanteri, akış süresi, verimlilik, kapasite, müşteri taleplerine hızlı cevap verebilecek esneklik şeklinde tanımlamıştır. Uygulamadan çıkan sonuçlar ise montaj hatlarının Seru üretim sistemi ile iyileştirilebileceğini ortaya koymuştur.

Sakazume (2005) bu çalışmada, seru üretim sistemini baz alarak U şeklinde bir taşıyıcı hattı oldukça vasıflı işçilerle kurarak çok maddeli küçük ölçekli bir üretim organizasyonunu örnek göstermiştir. Araştırmanın belirleyici performans kriterlerini; Verimlilik, sermaye yatırımı, teslim süreleri, üretim alanı, esneklik, ürün kalitesi, verimlilik, teslim süresi, WIP / bitmiş ürün envanteri, maliyet, teslim süresi, sermaye yatırımı, kurulum süresi, operatörün memnuniyet ve başarı anlayışı olarak belirlemiştir. Çalışmanın sonucunda ise elde ettiği bulgular; üretim hacmine uyarlanabilir değişikliklerinin ortaya konmasına ek olarak sık model değişiklikleri, çok parçalı küçük boyutlu ürünler, artan üretim, üretim maliyetinde düşüş, ürün kalitesinde iyileşme ve kısaltılmış teslim süresi olarak tespit edilmiştir.

Miyake (2006) yaptığı çalışmada, amacı iş takımlarının güçlendirilmesi, çoklu görev ve düşük maliyetli otomasyon kavramlarını ön planda tutarak örnek bir üretim hattını Seru sistemi ile U şeklinde yeniden düzenlemiştir. Bu çalışmanın uygulanmasında belirlenen performans endeksleri; maliyet, yatırım, WIP envanteri, kurulum zamanı, organizasyon yeniliği, talep pazar talebine cevap verme, kalite, çalışma saati verimliliği, esneklik, çeviklik, yer döşemesi, üretim süresi, maddi kayıp olarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda Seru üretim sisteminin uygulanması durumunda dalgalı üretim pazarında oldukça esnek ve yüksek üretim hızına sahip olunabileceğini vurgulamıştır.

Sakazume (2006) yapmış olduğu çalışmada, küçük ölçekli bir üretim hattında U şeklinde Seru üretim sistemini geliştirerek çok vasıflı işçi odaklı bir uygulama yapmıştır. Uygulamanın performans kriterleri; model değiştirme zamanı, imalat alanı, verimlilik, WIP / bitmiş envanter, çalışan memnuniyeti ve başarısı, sermaye yatırımı, verimlilik, teslim süresi, kalite ve esneklik olarak tanımlanmıştır. Çalışmanın sonucunda Seru üretim sisteminin küçük ölçekli üretim hattında daha verimli olduğunu, zamandan ve çalışma alanından tasarruf edilebileceğini ve ürün kalitesinde iyileşmelerin yapılabileceğini ortaya koymuştur.

Kaku vd. (2008a) yaptıkları çalışmada, Seru üretim sistemini çok vasıflı işçi temelinde örnek bir üretim hattına uygulamışlardır. Bu uygulama için performans endekslerinden Kurulum süresi, toplam iş gücü (TLP), toplam çıkış süresi (TTPT) Toplam çıkış süresi (TTPT), toplam işgücü (TLP) olarak tanımlamışlardır. Sonuç olarak da uygulanan Seru, genel performansın iyileştirmesinde oldukça etkili bir model olarak tespit edilmiştir.

Yin vd. (2008) yaptıkları çalışmada, insan merkezli örnek bir Seru üretim sistemi hazırlayarak çok vasıflı işçileri ön plana almışlardır. Bu sistemi uygulayabilmek için teorik yapının performans endeksleri; Teslimat süreleri, WIP / mamul stok, kalite, hızlı bilgi geri bildirimi ve tespiti olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak Seru tiplerinden biri olan *Yatai* sisteminin oldukça iyi bir performans gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Kaku vd. (2008b) yaptıkları çalışmada matematiksel modellemeden yararlanarak operasyonelleştirilmiş teknolojiler içinde yer alan Kaizen, Taşıyıcı hat dönüşümü yani Seru sistemlerini örnek probleme uyarlamışlardır. Örnek olarak alınan operasyonun performans endekslerini iş gücü verimliliği, motivasyon, döngü zaman, verimlilik, esneklik, etkinlik ve envanter oranları olarak belirlemişlerdir. Çalışmanın sonucunda yapılan dönüşümün işletmenin motivasyonunu, geliştirilecek işçi düzeylerini, dinamik sistem performanslarını ve üretim çevresini de olumlu yönde etkileyebileceği sonucuna varmışlardır.

Kaku vd. (2009) yaptıkları çalışmada, Seru üretim sistemini klasik üretim hattını dönüştürerek uygulayıp işçilerin çapraz eğitimi ve çok vasıflı işçilerin hatta organize edilmiştir. Uygulamanın gerçekleştirilmesinde kullanılan performans faktörleri Toplam çıkış süresi (TTPT), toplam işgücü (TLP) olarak belirlemişlerdir. Sonuç olarak da Konveyör montaj hatlarını dönüştürme içine seru üretim sistemlerine hem TTPT hem de TLP dahil edilerek iyi bir sistem performansı almışlardır.

Liu vd. (2010) bu çalışmada, hali hazırdaki üretim sistemine bir öneri getirerek Seru üretim sistemini çalışan odaklı bir sistem güçlendirmesi adına teorik bir uygulama yapmışlardır. Uygulamayı gerçekleştirmek için performans belirleyicilerinden verimlilik, esneklik, lojistik maliyet, teslim süresi, zamanında muayene ve onarım, üretim alanı, WIP envanteri, bitmiş ürün envanteri ve işçilerin moral ve motivasyonu olarak belirlemişlerdir. Sonuç olarak da Seru üretim sistemi Japon imalat işletmelerinde başarıyla sergilenmiştir.

Stecke vd. (2012) yaptıkları çalışmada, geleneksel hat taşıyıcıları ile üretim yapılan örnek bir imalathanede teorik bir çalışma yaparak seru üretim sistemlerinin uyarlanabileceğini göstermişlerdir. Sistemin temeline kabiliyetli ve çapraz eğitilmiş işçileri alarak üretim sistemini yeniden yapılandırılmaya çalışmışlardır. Bunun için performans endekslerinden işgücü, atölye alanı, teslim süresi, kurulum zamanı, WIP envanterleri, maliyet, kar, bitmiş ürün stokları, işgücü motivasyonu, ürün kalitesi, kariyer kreasyonları ve ilerlemeleri ve atık işlemi temel olarak alınmıştır. Çalışmanın sonucunda Seru üretim sisteminin Toyota üretim sisteminden daha esnek bir sistem olduğunu tespit etmişlerdir.

Liu vd. (2012) yaptıkları çalışmada, seru üretim sistemini matematiksel modellemeyi değişkenlerini nitelikli işçiler, ekipman modifikasyonu, araçlar ve aletler, özerk çalışanlar ile belirleyip modelleyerek örnek bir performans ölçümü yapmışlardır. Performans ölçütleri olarak da kurulum zamanı, akış zamanı, tamamlanma süresi, işlem süresi, üretim kapasitesi, kurulum maliyeti, stok maliyeti atık

olarak belirleyerek uygulamayı sonuçlandırmışlardır. Alınan sonuçlara göre üretim sisteminde esnekliğe neden olarak işçi ve üretim hattı için ilerleme kaydedebileceğini tespit etmişlerdir.

Villa ve Taurino (2013) yaptıkları çalışmada, küçük parti transferlerinin yapılması amacıyla hatların değiştirilip Seru üretim sistemine geçip çapraz eğitilmiş işçileri sisteme dahil ederek bir modelleme yapmışlardır. Modelin performans etkenleri; kurulum süresi, stoklar ve WIP envanteri, teslim süreleri, kalite, kapasite kullanımı ve esneklik olarak tanımlamışlardır. Bu araştırmanın sonucunda Seru üretim sisteminin uygulanmasıyla yüksek esneklik, düşük envanter, kısa teslimat süresi ve en önemlilerinden tam moralli işçiler kazanım olarak tespit edilmiştir.

Liu vd. (2014) bu çalışmada çapraz işçi eğitimleri temelinde örnek bir Seru üretim sistemini (Hat-seru dönüşümü) teorik olarak çalışmışlardır. Çalışmanın belirleyici performans faktörlerini; esneklik, kar, kalite, maliyet, teslimat, teslim süreleri, WIP envanteri, iş zenginleştirme, iş tatmini, verim süresi, karbondioksit emisyonu, yeterlilik, verimlilik, sürdürülebilirlik, insan gücü gereksinimleri, atölye alanı olarak düzenlemişlerdir. Çalışmanın sonucunda da esnekliğin entegrasyonunu sağlayarak gelişmiş bir üretim modeli oluşturulmuştur. Ayrıca örnek bir üretim hattına uyarlanan bu modelde sürdürülebilirlik sağlanarak kitlenin verimliliği esnek tutulup sürekli olarak artırılabilirliği de sunulmuştur.

Yu vd. (2016) 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. Bu çalışmada çok amaçlı hat seru dönüşümünün Pareto-optimal çözümlerini elde etmek için, sırasıyla zaman karmaşıklığını ve uzay karmaşıklığını azaltmaya dayalı iki gelişmiş kesin algoritma geliştirmişlerdir.

Zhang vd. (2017) Talep belirsizliği, ekonomik küreselleşme ve çevresel bozulma, fabrikaları sürdürülebilir performansa ulaşmak için üretim sistemlerini yenilemeye zorlar. Mevcut seru üretim çalışmalarının ezici çoğunluğu, çevresel ve sosyal performansı ihmal ederken, tek taraflı olarak ekonomik performansa odaklanmaktadır. Bu çalışmada, seru üretimi için anahtar olanak sağlayan teknolojilerin sürdürülebilir performans üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Araştırma sonuçları, seru üretimi için dört anahtar olanak sağlayan teknolojinin, sürdürülebilir performansın üç boyutu üzerindeki farklı etkilere sahip olduğu anlaşılmıştır.

Yu vd. (2017a) Üretim sistemlerinin bir yeniliği olarak görülen seru üretimi, Canon ve Sony gibi Asya elektronik endüstrisinde başarıyla uygulanmıştır. Seru üretiminin faydalarından esinlenen bu çalışmada, bir montaj hattını serular ve kısa bir hat (hat-hibrit seru sistem dönüşümü) ile hibrit bir sisteme dönüştürmenin temel ilkelerini araştırmaya odaklanılmışlardır.

Yu vd. (2017b) geleneksel montaj hattı ile karşılaştırıldığında, seru üretimi işçileri azaltarak üretim süresini de azaltabilir. Bununla birlikte, iki hedef aynı anda düşünüldüğünde, Pareto-optimal çözümler insan gücü tasarrufu sağlayabilir ancak üretim süresini artırabilir. Bu nedenle, bu çalışmada üretim süresini artırmadan işçi (ler)'i azaltmaya yönelik hat-seru dönüşümünü formüle ederek farklı ölçek örnekleri için kesin ve meta-sezgisel algoritmalar geliştirmişlerdir.

Kaku (2016) Bu yazıda, öncelikle seru üretim sisteminin veri tabanını oluşturmanın düşüncesi ve yöntemi ayrıntılı olarak tartışılacaktır. Ardından, yöntemimizin faydasını ve performansını göstermek için basit bir örnek gösterilir. Gelecekte ne yapmamız gerektiğini de listeliyoruz.

Ying ve Tsai (2017) bu çalışmada, çok sayıda montaj hücresi veya sözde serular olarak yapılandırılmış yeni bir montaj hattı türü olan Seru Üretim Sisteminin (SPS) çok vasıflı işçi eğitimi ve ataması (Multiskilled Worker Training and Assignment - MWT & A) problemini araştırmışlardır. SPS'nin yapılandırması, çok çeşitli ve düşük hacimli üretim talebiyle başa çıkabilen çok vasıflı işçiler (MW'ler) tarafından elde edilen üretim verimliliğini ve esnekliği vurgulamışlardır. Toplam maliyeti, özellikle de

çalışanların eğitim maliyetini ve serulardaki çok vasıflı işçilerin işleme sürelerinin denge maliyetini en aza indirmek amacıyla SPS'deki MWT & A sorununu incelemişlerdir. Uygulanabilir bir matematiksel programlama modeli ortaya koyup bu problemi etkili ve verimli bir şekilde çözmek için SAIG algoritması adlı iki aşamalı bir buluşsal yöntem tasarlamışlardır.

Sun vd. (2016) Hat-seru dönüşümü özellikle değişken iş ortamında üretkenliği artırmak için kullanılır. Bu nedenle çoğu araştırma hat-yalın seru sistem dönüşümüne odaklanmıştır. Hat- yalın sistem dönüşümünün mevcut iki modelini (yani bir biyobjektif model ve bir tek hedefli model) özetliyoruz ve değerlendirilen performansları ve kısıtlamaları birleştirerek entegre bir çerçevede genellikle kullanılan diğer üç tek amaçlı modeli formüle etmişlerdir. Ardından, tüm çözüm uzayını serus sayısına göre birkaç altuzaya bölerek hat-saf seru sistem dönüşümünün çözüm uzayı özelliklerini analiz etmişlerdir. C_{max} (ve TLH) ve alt uzaylar arasındaki özellikleri araştırmaya odaklanmışlardır. Üçüncüsü, C_{max} (ve TLH) ve alt uzaylar arasındaki farklı özelliklere göre, sırasıyla dört tek amaçlı modeli çözmek için dört etkili algoritma önermişlerdir. Son olarak, kapsamlı deneylere dayanan numaralandırma ile karşılaştırarak geliştirilen algoritmaların hesaplama performansını değerlendirmişlerdir.

Kaku vd. (2017) çalışmalarında, Seru üretim sistemini tanımlamak için S-F şemasını kullanmaya ve doğruluğunu kanıtlamak için bir kümeleme yaklaşımı sağlamaya çalışmışlardır. Kitaplar, dergiler, gazeteler ve web siteleri dahil olmak üzere seru üretim sistemi hakkında yayınlanan tüm materyalleri bu çalışmada toplayıp genel bir literatür incelemesi yapmışlardır.

Yin vd. (2018) bu çalışmada, Endüstri 2.0–4.0 bağlamında ürün arzı ve müşteri talebi arasındaki ilişkilere odaklanarak üretim sistemlerini tartışmışlardır. Ana üretim sistemleri- akış hattı, Toyota üretim sistemi (TPS), iş atölyesi, hücre, esnek üretim sistemi ve seru - zaman içinde farklı talep boyutlarını karşılamak için geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Her bir üretim sistemi için iki soru ele alınmıştır: ne ve nasıl? TPS ve hücre ile seru arasındaki karşılaştırmalar verilmiştir. Nesnelerin interneti ile donatılmış geleceğin akıllı fabrikasının olanakları tartışılmıştır. Endüstri 4.0'ın talep boyutları, otomobil endüstrisindeki ürün mimarisi değişikliği ve 3D baskının etkisi detaylandırılmıştır. Endüstri 4.0 için yalın ve seru ilkelerinin potansiyel uygulamaları sunulmuştur.

Singh (2017) montaj hattında uzun süredir büyük, karmaşık, seri üretilen ürünler yapılmaktadır. Henry Ford bunu harekete geçirdiğinden beri, özünde montaj hattı pek değişmedi. 1990'ların başından itibaren yüksek teknolojili ürünler çok daha fazla çeşitliliğe ve çok daha kısa yaşam döngülerine sahip olmaya başladı. Böylece Canon ve Sony gibi elektronik sektörüne hâkim olan Japon şirketler montaj hatlarını söküp seru adını verdikleri bir üretim yöntemine geçtiler. Bu çalışmada, iki hatlı dönüşüm performanslarını araştırmak için çok amaçlı bir optimizasyon modelinin geliştirilmesini incelemişlerdir.

Kaku (2017) bu çalışmada, Japon seru üretim sistemlerini, sürdürülebilirlik raporları ile karşılaştırarak, seru'nun sürdürülebilir özelliklerini açıklığa kavuşturmak için olumlu bir araştırma yapmışlardır. Gerçek vaka çalışmaları, seru'nun sürdürülebilirliğini değerlendirilmesine yardımcı olmuş ve seru uygulama performansının nasıl ölçüleceğini tartışmışlardır.

Yin vd. (2017) Yüksek sermaye ve iş gücü maliyetleri, yüksek teknolojik ve rekabetçi değişim oranları ile birleştiğinde, gelişmiş ülkelerdeki imalatçılar için zorluklar ortaya çıkarmakta ve çoğu zaman onları düşük maliyetli kaynaklara açık deniz üretime sevk etmektedir. Bununla birlikte, elektronik endüstrisi, dinamik, yüksek maliyet koşulları, yeni bir üretim sistemine ve bir hücresele montaj yaklaşımına yol açmıştır. Bu çalışmada, seru'yu uygulayan iki elektronik devinin (Sony ve Canon) derinlemesine vaka çalışmalarının sonuçlarını ele almışlardır. Vaka çalışmalarında yer alan, seru'nun yalın üretim, seri üretim ve grup teknolojisine dayalı hücresele üretime yönelik temel uzantılarını ve bunlardan ayrılışlarını açıklamışlardır. Sony ve Canon'un üretkenliği, kaliteyi ve esnekliği artırmak için seru'yu rekabetçi kalmalarını sağlayacak şekillerde nasıl uyguladıklarını açıklamışlardır. Buna ek olarak, bulguları, hızlı, eşit akış teorisini, üretim verimliliği, duyarlılık ve rekabet edebilirlik ile ilgili gelecekte yapılacak ödüneşmeler için çıkarımlar ile detaylandırmışlardır.

Wu vd. (2018) bu çalışmada işçi görevi ataması altında iki seru türü arasındaki çıktı performansını karşılamışlardır. Çapraz eğitilmiş işçi atama problemi için, bu araştırma, beceri seviyelerini (SL'ler) ve çeşitli pratik kısıtlamaları dikkate alarak maksimum seru üretimini ve çalışanların iş yükü dengesini hedefleyen yeni modeller geliştirmişlerdir. Çalışma sonucunda bölümlü seruların maksimum verimi, uygun işçi ataması altındaki dönen serununkinden daha iyi olduğu ortaya çıkmıştır. Ardından görev süresinin daha az farkına sahip olan seru da atanan işçi sayısına yakın olduğunda dönen serunun çıktı performansı bölümlü serudan daha iyi olarak tespit edilmiştir.

Aboelfotoh ve Abdullah (2018) bu çalışma, iki stratejinin (Klasik Montaj Hattı ve Seru) uygulanabilir olduğu sabit talep alanına odaklanmıştır. NeuroSolutions'ı kullanarak bir sinir ağı modeli oluşturularak işçi beceri seviyesi değişimi ile strateji seçimi arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Beceri seviyelerinin normal olarak 1'den 7'ye dağıtıldığı düşünülmüştür. Görev sayısı, ürün önceliği ağ esnekliği ve görev işleme süresi değişimi gibi girdiler de sinir ağı modelinin öğrenme sürecini desteklemek için dahil edilmiştir. Sinir ağı modeli daha sonra Klasik Montaj Hattı ve Seru yaklaşımı arasında daha yüksek çıktı oranı üretecek daha uygun stratejiyi tahmin etmek için uygulanmıştır. Sonuç olarak, bu, yalnızca ürün ve beceri çeşitliliği hakkında mevcut bilgileri kullanarak ve herhangi bir matematiksel modeli çözmeye gerek kalmadan, Klasik Montaj ve Seru stratejisinin ne zaman kullanılacağına ilişkin bir kılavuz görevi görmeye yardımcı olmuştur.

Yu vd. (2018) Seru üretim sistemi, işçilerin yeniden yapılandırılmasına dayalı olarak işçilerin iş yükü dengesini iyileştirerek üretim süresini, çalışma saatlerini ve insan gücünü azaltabilir. Bu sebepten yola çıkarak bu çalışma seru sistem dengelemesinin temel ilkelerine odaklanmaktadır. Bir seru için, serudaki çalışanların iş yükü dengesini tanımlamak için seru dengesini (Seru Balance - SB) tanıyıp formüle etmişlerdir. Daha fazla seru içeren bir seru sistemi için, seru sistem dengesinin (Seru System Balance - SSB) tüm çalışanların iş yükü dengesi ve tüm serular arasındaki iş yükü dengesini değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak, iki perspektifi değerlendirmek için sırasıyla seru içi sistem dengelemesini (Intra-SSB) ve seriler arası sistem dengelemesini (Inter-SSB) tanımlayıp ve formüle etmişlerdir. Teorik olarak sırasıyla Intra-SSB ve Inter-SSB'nin alt ve üst sınırlarını geliştirmişlerdir.

Wang ve Tang (2018) Artan talep çeşitliliği ve kısa ürün yaşam döngüleriyle, endüstriler artık talep belirsizliği zorluklarıyla karşılaşılıyor. Japon seru üretim sistemi, yüksek verimliliği ve esnekliği nedeniyle artan ilgi gördü. Bu çalışmada, belirsiz talep altında seru üretim sistemi oluşumu problemi araştırılmıştır. Bir seru üretim sistemi oluşum problemi için çok amaçlı bir optimizasyon modeli, sistemin maliyetini en aza indirmek ve servis seviyesini en üst düzeye çıkarmak için geliştirilmiştir. Baskın olmayan sıralama genetik algoritması II (NSGA-II), çok amaçlı optimizasyon modelini çözmek için geliştirilmiştir.

Lian vd. (2018) Üretim sistemlerinin esnekliği, çeşitli değişikliklerle karşılaşan üreticiler için giderek daha önemli hale gelmektedir. Küçük bir yatırımla kısa sürede esnekliği artırmanın etkili bir yolu olarak, çok vasıflı çalışanlar son yıllarda daha fazla ilgi görmüştür. Bu çalışmada, çok vasıflı bir işçi atama problemi, işçilerin becerileri ve yeterlilik seviyelerindeki farklılıkların dikkate alındığı seru üretim sistemleri bağlamında çözülmüştür. Problemden işçi gruplaması, hücre yüklemesi ve görev ataması eşzamanlı olarak çözülmüştür. Sorunu çözmek için, serular ve çalışanlar arası iş yükü dengesini geliştirme hedeflerine sahip bir matematiksel model önermişlerdir. Önerilen modeli doğrulamak için, sayısal bir örnek sunarak toplam ağırlıklı bir yöntemle çözmüşlerdir.

Zwierzyński ve Ahmad (2018) bu çalışmada, seru üretimi ve nihai ürünlerin montaj hattında seru üretim sistemini uygulama etkinliğini kontrol etmek için basit bir simülasyon modeli ortaya koymuşlardır. Bunun için SIMUL8 yazılımını kullanmışlardır. Simülasyon örneği, geleneksel bir montaj hattına kıyasla seru üretim sistemini kullanarak daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu kıyaslamayı, üretim miktarı, toplam maliyet, işçi verimliliği, stok seviyesi, süreçteki bekleme süresi ve sistemdeki ortalama süre temelinde yapmışlardır. Üç tip üretim hücresi kullanılmış ve her seçeneğin geleneksel bir montaj hattından daha iyi olduğu ortaya çıkmıştır.

Ibrahim vd. (2019) sürdürülebilirlik performansındaki seru üretimin çevresel kirliliğe ve sosyal hasara neden olan bu dengesizlikle, ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik arasında bir denge kurmaya acil ihtiyaç vardır. Bu sebeple, bu çalışmada, sürdürülebilir bakımı (Sustainable Maintenance - SMA) sürdürülebilir üretim uygulamalarına (Sustainable Manufacturing Practices - SMP'ler) entegre ederek seru üretimindeki bu dengeyi sağlamayı amaçlamışlardır. Bu çalışmanın teorik katkısı, esas olarak, petrol ve gaz endüstrisi de dahil olmak üzere, SMA'nın SMP'ler ile SP arasındaki ilişkide ılımlı rolünü vurgulamaya ilişkin mevcut bilgilerin genişletilmesi olmuştur.

Ren ve Wang (2019) Konveyör montaj hattı, düşük maliyetlerle standart ürünler üretmek için imalat endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, esneklik eksikliği nedeniyle, bu üretim yöntemi çok değişkenli ve küçük parti üretime elverişli değildir. Bu durumda, konveyör montaj hatlarının dönüştürülmesiyle oluşan seru üretimi, Japon imalat sanayinde başarılı bir yenilik olmuştur. Bu çalışmada line-seru dönüşümünün neden olduğu ortalama bekleme kuyruğu uzunluğundaki değişiklikleri azaltmak için bir değerlendirme indeksi önermişlerdir. İkinci olarak, randombatch varışlarının pratik durumu dikkate alınarak, konveyör montaj hattı ve seru üretimi için ortalama bekleme kuyruk uzunluğu formülleri, varışın bir Poisson süreci olduğu varsayımına dayalı olarak belirlemişlerdir. Daha sonra, iki senaryo altında, line-seru dönüşümü ile değiştirilen ortalama bekleme kuyruğu uzunluğu ile diğer parametreler arasındaki ilişkiyi araştırmış ve dönüşümün, çok değişkenli ve küçük seri üretimde ortalama bekleme kuyruğu uzunluğunu azaltabileceğini ortaya koymuşlardır.

Wang ve Peng (2019) bu çalışmada, dört tür hücreli imalat yani yatai, dönen seru, bölünmüş seru ve grup teknolojisi ile hücreli imalat gibi gereksinimleri bakımından incelemişlerdir. Uygulamada hücreli üretim uygulamasıyla ilgili 81 vaka toplamışlardır. Sonuçlar, entegre ürün mimarisi ile karşılaştırıldığında, modüler mimariye sahip ürünlerin seru üretimi ile uygulanma olasılığının daha yüksek olabileceğini göstermişlerdir.

Yu ve Tang (2019) Seru üretimi, yeni bir üretim modu olarak kabul edilir ve Japon elektronik endüstrisinin üretim sahasından türetilmiştir. Bu üretim modu, montaj hattının düşük esnekliğinin üstesinden gelmek için önerilmiştir. Seru üretimi, Canon ve Sony gibi Japon elektronik endüstrisinde başarıyla uygulanmıştır. Seru üretiminin faydaları arasında hızlı yanıt, iyi esneklik ve yüksek verimlilik bulunur. Seru üretimi, akademik araştırma ve üretim uygulamalarında büyük ilgi görmüştür. Bu çalışma, seru üretiminin arka planı, özellikleri, türleri ve işleyişini gözden geçirmektedir. Seru üretiminin avantajları ve uygulanabilir sahneleri, iş pratiği perspektifinden özetlenmiştir. Seri üretim ve ünlü üretim modlarını, yani montaj hattı, hücreli üretim ve Toyota Üretim Sistemi karşılaştırılmıştır.

Yılmaz (2020) bu çalışmada, işlemlerin bağımsız seriler kullanarak, sözde montaj hücreleri içinde gerçekleştirildiği seru üretim sistemindeki iş gücü çizelgeleme problemini araştırmıştır. Buradan yola çıkarak, dört farklı senaryo oluşturulmuş ve karşılaştırma amacı için her senaryoya ayrı bir algoritma tanımlanmıştır. Bunlar da Genetik algoritma temelli bir optimizasyon problemine dönüştürülmüştür. Sonuçlara bakıldığında, Interseru işçi transferine izin verilmesi, üretim süresinde önemli bir azalmaya yol açmıştır.

III. SERU ÜRETİM SİSTEMİNİN VARSAYIMLARI VE MATEMATİKSEL MODELİ

Montaj hattını saf seru sistemine dönüştürmek için çok amaçlı bir model oluşturmak için sistemin varsayımlarını şu şekilde sıralayabiliriz (Ying ve Tsai, 2017: 2980-2985; Liu vd., 2012: 314-318; Yu vd., 2018: 319-322; Sun vd., 2016: 3-8).

Varsayımlar;

1. İşlenecek ürün tipleri ve grupları önceden bilinir. M ürün grubuna bölünmüş N ürün tipi mevcuttur. Her parti tek bir ürün tipi içerir.

2. Bir seru içindeki montaj işleri manueeldir, bu nedenle sadece basit ve ucuz ekipmana ihtiyaç duyulur ve tekrarlama ekipmanının maliyeti göz ardı edilir.
3. Bir ürün grubu tamamen bir seru içine monte edilir.
4. Tüm ürün tipleri aynı montaj görevlerine sahiptir. Bir üründe bir görev kullanılmazsa, ürün için çalışma süresinin sıfır olduğu varsayılır.
5. Montaj hattında, her görev (veya istasyon) tek bir işçinin sorumluluğundadır. Bu, bir çalışanın montaj hattında yalnızca tek bir montaj görevi gerçekleştirdiği anlamına gelir. Bu nedenle, satırdaki toplam görev sayısı W ye eşittir.
6. Her seru içindeki montaj işleri, hat içindekilerle aynıdır. Bir seru çalışanın tüm montaj işlerini yapması gerekir, ürünün tamamını baştan monte eder ve bitişik işler arasında herhangi bir kesinti veya gecikme olmaz.

Notasyon;

i İşçiler indeksi ($i = 1, 2, \dots, w$). w , bir montaj hattındaki toplam işçi sayısıdır.

j Serus indeksi ($j = 1, 2, \dots, J$). J , bir seru sistemindeki toplam serus sayısıdır.

n Ürün tipleri dizini ($n = 1, 2, \dots, N$). N , toplam ürün tipi sayısıdır.

m Ürün grubu dizini ($m = 1, 2, \dots, M$). M , toplam ürün grubu sayısıdır.

k Seru içindeki ürün serileri dizini ($k = 1, 2, \dots, M$).

Tüm uygulanabilir seru sistemlerinin alt kümelerinin indeksi ($q = 1, 2, \dots, Q$). Q , toplam alt kümelerin sayısıdır.

Parametreler;

$V_{mn} = \begin{cases} 1, & \text{ve ürün grubu } m, \text{ ürün tipi } n \text{ ise} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$

B_m Ürün partisinin boyutu m .

T_n Montaj hattındaki n ürün tipinin döngü süresi.

SL_n Montaj hattında n ürün tipinin kurulum süresi.

SCP_n Bir ürün tipinde n ürün tipinin kurulum süresi.

T_{mj} Seru j montajında m ürün serisinin ortalama görev süresi.

n_i Bir seru içinde bir işçinin görev sayısının üst sınırınıdır. İşçi i 'ye atanan görev sayısı n_i 'den fazlaysa, bir Seru'daki ortalama görev süresi, asıl montaj hattındaki görev süresinden daha uzun olacaktır.

ε_i i işçisi, çoklu montaj işlerini yapma seviyesini etkileme katsayısı.

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

Karar değişkenleri,

$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{ve } i \text{ işçisi seru } j' \text{ye atandıysa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$

$Z_{mjk} = \begin{cases} 1, & \text{ve } m \text{ ürün grubu } k \text{ dizisindeki seru } j \text{ atanmışsa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$

Değişkenler,

C_i İşçi i 'nin değişim katsayısı, hat-seru dönüşümünden sonraki görev süresi, bir uzmandan tamamen çapraz eğitilmiş bir işçiye kadar arttırılır. Eğer bir seru içindeki işçi i 'nin görev sayısı işçinin n_i üst sınırının yani $w > n_i$ üzerinde olması durumunda, işçi orijinal montaj hattındaki görev süresinden daha fazla ortalama görev süresi alacaktır. C_i Değişkeni Formül (1)'de tanımlanmaktadır.

TC_m Bir Seru içindeki istasyon başına m ürün grubunun montaj görev zamanıdır. Bir seru içinde, n ürün tipinin görev süresi, işçilerdeki Seru'daki işçilerin ortalama görev süresi ile hesaplanır. TC_m değişkeni Formül (2)'de verilmektedir.

FCB_m Bir seru'daki m ürün grubunun başlangıç zamanıdır. İki ürün grubu arasında bekleme süresi yoktur, böylece FCB_m , aynı seru içinde ürün grubu m 'den önce işlenen ürün gruplarının akış zamanının ve kurulum süresinin toplamıdır. FCB_m değişkeni Formül (3)'te gösterilmektedir.

SC_m Bir seru içinde m ürün grubunun kurulum süresidir. İki farklı ürün tipi art arda işlendiğinde kurulum süresi dikkate alınır; Aksi takdirde kurulum süresi sıfırdır. Örneğin, Denk. (4), bir seru içinde bitişik monte edilmiş iki ürün, m ve m' olarak ifade edilir. m ürün tipi m' ürün tipinden farklıysa, yani $V_{mn} = 1$, $V_{m'n} = 0$ ve m ürün grubunun kurulum süresi $SCP_n V_{mn}$ olur. Ancak, eğer m ürün tipi m' ile aynıysa $V_{mn} = V_{m'n} = 1$ ve ardından m ürün grubunun kurulum süresi de 0 olur.

FC_m Bir seru içindeki m ürün grubunun akış süresidir. FC_m değişkeni Formül (5)'te tanımlanmaktadır.

$$C_i = \begin{cases} 1, & \text{ve } 1 + \varepsilon_i(W - n_i), & W > n_i \\ 1, & \text{ve} & W \leq n_i \end{cases} \quad \forall i \quad (1)$$

$$TC_m = \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^M V_{mn} T_n \beta_{ni} C_i X_{ij} Z_{mjk}}{\sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^M X_{ij} Z_{mjk}} \quad (2)$$

$$FCB_m = \sum_{s=1}^{m-1} \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^M (FC_s + SC_s) Z_{mjk} Z_{sj(k-1)} \quad (3)$$

$$SC_m = \begin{cases} SCP_n V_{mn}, & V_{mn} = 1, V_{m'n} = 0 \\ 0, & V_{mn} = V_{m'n} = 1 \text{ ve } (m', Z_{mjk} = 1, \end{cases} \quad (4)$$

$$FC_m = \frac{B_m TC_m W}{\sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^M X_{ij} Z_{mjk}} \quad (5)$$

a. Seru Sisteminin TTPT ve TLH Ögeleri

Seru sisteminin toplam çalışma süresi (TTPT³) ve toplam işgücü çalışma saatleri (TLH⁴) aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\text{Serudaki TTPT} = \text{Max} (FCB_m + FC_m + SC_m) \quad (6)$$

$$\text{Serudaki TLH} = \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^W (\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^M FC_m X_{ij} Z_{mjk}) \quad (7)$$

Serunun TTPT'si, son tamamlanan ürün grubunun tamamlanma süresidir. Seru sisteminin TLH'si, seru sistemindeki tüm çalışanların toplam çalışma süresidir. Ürün grupları verildiğinde, seru sistemleri hattan daha kısa TTPT ve TLH'ye sahip olmalıdır.

TTPT ve TLH'yi minimize ederek çift hatlı - seru dönüşümünün matematiksel gösterimi Formül (8 – 13) arasında tanımlanmaktadır.

Amaç fonksiyonları:

3 The Total Throughput Time

4 The Total Labor Hours

$$\text{Min TTPT - seru sistemi} \quad (8)$$

$$\text{Min TLH - seru sistemi} \quad (9)$$

Buna bağlı olarak;

$$1 \leq \sum_{i=1}^W X_{ij} \leq W, \quad \forall j \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^J X_{ij} = 1, \quad \forall i \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^M Z_{mjk} = 1, \quad \forall m \quad (12)$$

$$\sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^M Z_{mjk} = 0, \quad (\forall j, \sum_{i=1}^W X_{ij} = 0) \quad (13)$$

Burada Formül (8) toplam işlem süresini (TTPT) en aza indirir. Formül (9) toplam çalışma saatlerini (TLH) en aza indirir. Formül (10), bir seru içindeki işçi sayısının [1, W] aralığında olması gerektiğindeki kısıtlamaktadır. Formül (11) işçi atama kuralıdır, yani her işçi sadece bir seru içine atanmalıdır. Formül (12), ürün grubu atama kuralıdır, yani her grup bir ve sadece bir taneye atanmalıdır. Formül (13), kısıtlama atama kuralıdır, yani en az bir işçinin atandığı bir servise bir ürün atanmalıdır. Diğer bir deyişle herhangi bir işçi olmadan bir seru, şu şekilde; $\forall j, \sum_{i=1}^W X_{ij} = 0$, herhangi bir ürün grubu seru içine atanamaz ve bu da $\sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^M Z_{mjk} = 0$ şeklinde olur.

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Geleneksel montaj hatları yaklaşık bir asırdır imalat sektöründe yaygınlıkla kullanılmaktadır. Özellikle otomotiv ve elektronik sektöründe maliyeti yüksek montaj temelli üretim gerçekleştirildiğinden dolayı işletmeleri daha çok ürün ve daha az maliyet konseptinde arayışlara itmiştir. 50'li yıllardan itibaren Japon otomobil markası Toyota'nın montaj işlemlerinde yalın üretime geçmesi geleneksel yöntemle göre oldukça fazla yararlar sağlamıştır. Bu benzer şekilde 90'lı yılların ortalarında yine aynı ülkede montaj usulü çalışan iki büyük firma olan Canon ve Sony daha önce kullanılmamış yeni bir üretim sistemi olan seru sistemini kullanmışlardır. Bu firmalar, ürünlerini daha hızlı montajlayıp daha fazla ürün çeşitliliğine sahip olmuşlardır. Bununla beraber, montaj hattının baştan aşağı dönüştürülmesi, kendilerini ciddi bir maliyetten kurtarmış ve fabrika içlerinde daha rahat hareket edilebilecek alanlar ortaya çıkarılmıştır. Dünya genelinde yaygın olamayan fakat uygulamalar temelinde oldukça faydalı ve sürekli üretim ve işçi odaklı bir üretim sistemi haline gelmiştir. Türkçe literatürde henüz yeri olmayan seru aynı zamanda uluslararası düzeyde de parmakla sayılabilecek kadar az çalışmaya temel olmuştur. Yerel literatürü olan Japonya dışına çok taşınmamış olan seru sistemi, bu çalışma ile Türkçe literatüre kazandırılmıştır. Bu araştırma ve ileride yapılabilecek olan uygulamalı seru çalışmaları ile seru üretim sisteminin Türkiye'de bulunan montaj temelli üretim yapan işletmelere de tasarlanabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- ABOELFOTOH, A., ve ABDULLAH, G. A. S. M. (2018). Selection Of Assembly Systems; Assembly Lines Vs. Seru Systems. *Procedia Computer Science*, 140, 351-358.
- FORTUNĂ, M. E., SIMION, I. M., VE GAVRILESCU, M. (2011). Indicators For Sustainability In Industrial Systems Case Study: Paper Manufacturing. *In International Conference Of Applied Sciences, Chemistry And Chemical Engineering–Cisa*, 28-30.
- IBRAHİM, Y. M., HAMİ, N., ve OTHMAN, S. N. (2019). Integrating Sustainable Maintenance Into Sustainable Manufacturing Practices And its Relationship With Sustainability Performance: A Conceptual Framework. *International Journal Of Energy Economics And Policy*, 9(4), 30.
- ISA, K., VE TSURU, T. (2002). Cell Production And Workplace Innovation in Japan: Toward A New Model For Japanese Manufacturing? *Industrial Relations: A Journal Of Economy And Society*, 41(4), 548-578.
- 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.
- JONSSON, D., MEDBO, L., ve ENGSTRÖM, T. (2004). Some Considerations Relating To The Reintroduction Of Assembly Lines in The Swedish Automotive Industry. *International Journal Of Operations ve Production Management*, 24(8), 754-772.
- KAKU, I. (2016). A Fundamental Positive Investigation into Japanese Seru Production Systems. *IFAC-Papersonline*, 49(12), 337-342.
- KAKU, I. (2017). Is Seru A Sustainable Manufacturing System?. *Procedia Manufacturing*, 8, 723-730.
- KAKU, I., GONG, J., TANG, J., VE YIN, Y. (2008b). A Mathematical Model for Converting Conveyor Assembly Line to Cellular Manufacturing. *Industrial Engineering ve Management Systems*, 7(2), 160-170.
- KAKU, I., GONG, J., TANG, J., VE YIN, Y. (2009). Modeling And Numerical Analysis Of Line-Cell Conversion Problems. *International Journal Of Production Research*, 47(8), 2055-2078.
- KAKU, I., MURASE, Y., VE YIN, Y. (2008a). A Study On Human-Task-Related Performances In Converting Conveyor Assembly Line To Cellular Manufacturing. *European Journal Of Industrial Engineering*, 2(1), 17-34.
- KAKU, I., ZHANG, X., VE YIN, Y. (2017). Description And Evaluation Of Seru Production System With Sf Scheme. *Destech Transactions on Engineering And Technology Research*, (İcpr).
- LIU, C., LI, W., LIAN, J., VE YIN, Y. (2012). Reconfiguration Of Assembly Systems: From Conveyor Assembly Line To Serus. *Journal Of Manufacturing Systems*, 31(3), 312-325.
- LIU, C., LIAN, J., YIN, Y., VE 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., VE YIN, Y. (2014). An Implementation Framework For Seru Production. *International Transactions in Operational Research*, 21(1), 1-19.

- LIU, C., YANG, N., LI, W., LIAN, J., EVANS, S., VE YIN, Y. (2013). Training And Assignment Of Multi-Skilled Workers For Implementing Seru Production Systems. *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 69(5-8), 937-959.
- LIAN, J., LIU, C., LI, W., ve YIN, Y. (2018). A Multi-Skilled Worker Assignment Problem in Seru Production Systems Considering The Worker Heterogeneity. *Computers & Industrial Engineering*, 118, 366-382.
- 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.
- REN, H., ve WANG, D. (2019). Analysis Of The Effect Of The Line-Seru Conversion On The Waiting Time With Batch Arrival. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019.
- SAKAZUME, Y. (2005). Is Japanese Cell Manufacturing A New System?: A Comparative Study Between Japanese Cell Manufacturing And Cellular Manufacturing (Special English Issue Production And Logistics). *Journal Of Japan Industrial Management Association*, 55(6), 341-349.
- SAKAZUME, Y. (2006). Conditions For Successful Implementation Of Assembly Cells. *Industrial Engineering And Management Systems*, 5(2), 142-148.
- SINGH, S. (2017). A Study On Seru Production System. In 3rd International Conference On Emerging Technologies in Engineering, Biomedical, Management And Science.
- STECKE, K. E., YIN, Y., KAKU, I., VE MURASE, Y. (2012). Seru: The Organizational Extension Of Jit For A Super-Talent Factory. *International Journal Of Strategic Decision Sciences (Ijsds)*, 3(1), 106-119.
- SUN, W., LI, Q., HUO, C., YU, Y., VE MA, K. (2016). Formulations, Features Of Solution Space, And Algorithms For Line-Pure Seru System Conversion. *Mathematical Problems In Engineering*, 2016.
- VILLA, A., VE TAURINO, T. (2013). From Jit To Seru, For A Production As Lean As Possible. *Procedia Engineering*, 63, 956-965.
- WANG, J., YE, N., ve PENG, Y. (2019). Case Studies On Design For Seru Manufacturing. *Procedia Manufacturing*, 39, 1090-1096.
- WANG, Y., ve TANG, J. (2018). Cost And Service-Level-Based Model For A Seru Production System Formation Problem With Uncertain Demand. *Journal Of Systems Science And Systems Engineering*, 27(4), 519-537.
- WU, L., CHAN, F. T., NIU, B., VE LI, L. (2018). Cross-Trained Worker Assignment And Comparative Analysis On Throughput Of Divisional And Rotating Seru. *Industrial Management ve Data Systems*, 118(5), 1114-1136.
- YILMAZ, Ö. F. (2020). Attaining Flexibility İn Seru Production System By Means Of Shojinka: An Optimization Model And Solution Approaches. *Computers & Operations Research*, 119, 104917.
- YIN, Y., KAKU, I., MURASE, Y., VE YASUDA, K. (2006). Converting Flow Lines To Manufacturing Cells Another Revolution? Cellular Manufacturing Implementations in Japan.

In Proceedings Of The Third Int. Conf. On Group Technology/Cellular Manufacturing-Gt/Cm, Groningen, Netherlands, July, 94–104.

YIN, Y., KAKU, I., VE STECKE, K. E. (2008). The Evolution Of Seru Production Systems Throughout Canon. Neilsonjournals Publishing.

YING, K. C., VE TSAI, Y. J. (2017). Minimising Total Cost For Training And Assigning Multiskilled Workers in Seru Production Systems. *International Journal Of Production Research*, 55(10), 2978-2989.

YIN, Y., STECKE, K. E., SWINK, M., ve KAKU, I. (2017). Lessons From Seru Production On Manufacturing Competitively in A High Cost Environment. *Journal Of Operations Management*, 49, 67-76.

YU, Y., SUN, W., TANG, J., KAKU, I., ve WANG, J. (2017b). 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., SUN, W., TANG, J., VE WANG, J. (2017a). Line-Hybrid Seru System Conversion: Models, Complexities, Properties, Solutions And Insights. *Computers ve Industrial Engineering*, 103, 282-299.

YU, Y., TANG, J., GONG, J., YIN, Y., VE KAKU, I. (2014). Mathematical Analysis and Solutions For Multi-Objective Line-Cell Conversion Problem. *European Journal Of Operational Research*, 236(2), 774-786.

YU, Y., ve TANG, J. (2019). Review Of Seru Production. *Frontiers Of Engineering Management*, 6(2), 183-192.

YU, Y., WANG, J., MA, K., VE SUN, W. (2018). Seru System Balancing: Definition, Formulation, And Exact Solution. *Computers and Industrial Engineering*, 122, 318-325.

YU, Y., WANG, S., TANG, J., KAKU, I., VE SUN, W. (2016). Complexity Of Line-Seru Conversion For Different Scheduling Rules and Two Improved Exact Algorithms for The Multi-Objective Optimization. *Springerplus*, 5(1), 809.

ZHANG, X., LIU, C., LI, W., EVANS, S., VE YIN, Y. (2017). Effects Of Key Enabling Technologies For Seru Production On Sustainable Performance. *Omega*, 66, 290-307.

ZWIERZYŃSKI, P., VE AHMAD, H. (2018). Seru Production As An Alternative to A Traditional Assembly Line. *Engineering Management in Production And Services*, 10(3), 62-69.