



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Kondenser üretim hattında Arena16.1 destekli hat dengeleme çalışması yapılması

## *Line balancing study supported by Arena16.1 in the condenser production line*

Yazar(lar) (Author(s)): Seda KUĞU<sup>1</sup>, Oğuz Ozan YOLCAN<sup>2</sup>, Ramazan KÖSE<sup>3</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0002-7644-050X

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0002-6664-5675

ORCID<sup>3</sup>: 0000-0001-6041-6591

**To cite to this article:** Kuğu S., Yolcan O. O. ve Köse R., “Kondenser üretim hattında Arena16.1 destekli hat dengeleme çalışması yapılması”, *Journal of Polytechnic*, 26(2): 959-971, (2023).

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Kuğu S., Yolcan O. O. ve Köse R., “Kondenser üretim hattında Arena16.1 destekli hat dengeleme çalışması yapılması”, *Politeknik Dergisi*, 26(2): 959-971, (2023).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.1116404

# Kondenser Üretim Hattında Arena16.1 Destekli Hat Dengeleme Çalışması Yapılması

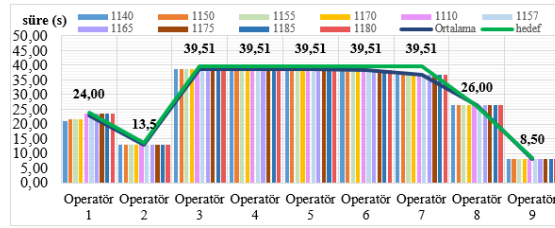
## Line Balancing Study Supported By Arena16.1 In The Condenser Production Line

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Kondenser üretim iş akışı ve hat dengesi/ Condenser production workflow and line balance
- ❖ Çevrim sürelerinin düşürülmesi ve verimliliğin artırılması/ Reducing cycle times and increasing efficiency
- ❖ Arena16.1 programında simülasyon desteği/ Simulation support in Arena16.1
- ❖ Hat dengesinin kurulması, sürekliliğinin sağlanması/ Making line balancing and providing sustainability

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Kondenser üretim hattında hat dengeleme çalışması yapılarak proseslerin çevrim süreleri verilen hedef sürelere düşürülerek, üretimden istenen adetler üretilebilir hale getirilmiş ve Yamazumi diyagramı ile gösterilmiştir. / Line balancing study in the condenser production line is made and cycle times are decreased to the given target times and the production quantities which are required from production and monitored with the Yamazumi diagram.



Şekil. Hat dengeleme sonrası çevrim süreleri /Figure. Cycle time after the line balancing

### Amaç (Aim)

Kondenser üretim hattında çevrim sürelerinin azaltılarak üretim adetlerinin artırılması. / Increasing the production quantities by reducing the cycle times in the condenser production line.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Üretim hattında hat dengeleme çalışması yapılarak Arena 16.1 programı ile desteklenmiştir. / Line balancing study is made in the production line and it is supported by the Arena 16.1.

### Özgünlük (Originality)

Hat dengeleme çalışması için hat düzeni değiştirilmeden çalışma yapılmıştır ve Arena16.1'de simülasyonla çalışma desteklenmiştir. / Line balancing was done without changing the line layout, supported with Arena 16.1.

### Bulgular (Findings)

Hat dengeleme çalışmaları sonucunda üretim hattı çevrim sürelerinde ortalamada %28,5 iyileşme görülmüştür. / As a result of line balancing, an average of 28.5% improvement was observed in production line cycle times.

### Sonuç (Conclusion)

Yapılan iyileştirmeler ile hedeflenen üretim adetlerine ulaşılmıştır. Yıllık kazanım miktarı 2021 yılı için 554.951,6 TL, 2022 yılı için 725.705,9 TL olarak hesaplanmaktadır. / Target production volumes are achieved thanks to the improvements. Amount of annual earning is 554.951,6 TL in 2021 and 725.705,9 TL in 2022 as well.

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# Kondenser Üretim Hattında Arena16.1 Destekli Hat Dengeleme Çalışması Yapılması

*Araştırma Makalesi / Research Article*

Seda KUĞU<sup>1</sup>, Oğuz Ozan YOLCAN<sup>1\*</sup>, Ramazan KÖSE<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Makine Mühendisliği, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye

(Geliş/Received : 13.05.2022 ; Kabul/Accepted : 29.06.2022 ; Erken Görünüm/Early View : 24.08.2022)

## ÖZ

Üretim ağırlıklı faaliyet gösteren işletmelerde, üretimde yaşanan verimsizlikler büyük kayıplara sebebiyet vermektedir. Hat dengeleme problemleri bunların büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Bu problemler; üretim planlarında aksaklıklara, üründen kalitesizliğe, darboğaz noktalarının oluşmasına ve verimsiz çalışma ortamına sebep olmaktadır. Bu çalışmada, beyaz eşya sektörü için üretim yapan bir firmada kondenser üretim hattında hat dengeleme problemi irdelenmiş ve iyileştirme için önerilerde bulunulmuştur. Yapılan iyileştirmede, üretim hattında hat yerleşimi ve hat akışını değiştirmeden hat dengelemesi yapılmıştır. İşletmenin önceki ve sonraki durum simülasyonu Arena 16.1 simülasyon programında yapılarak kontrolü sağlanmıştır. Hat dengeleme çalışması sonucunda, tüm çevrim sürelerinde ortalamada 28,5% iyileştirme yapılarak istenen hedefe ulaşılmış ve sonuç olarak 8537,7 saat; 2021 yılı için 554.951,6 TL, 2022 yılı için 725.705,9 TL yıllık kazanım hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Hat dengeleme, kondenser üretimi, Yamazumi, üretim performansı.

## Line Balancing Study Supported By Arena16.1 In The Condenser Production Line

### ABSTRACT

In production-oriented enterprises, inefficiencies in production cause great losses. Line balancing problems constitute a large part of them. These problems are; It causes disruptions in production plans, poor quality in the product, the formation of bottlenecks and an inefficient working environment. In this study, the line balancing problem in the condenser production line in a company producing for the white goods sector was examined and suggestions were made for improvement. In the improvement made, line balancing was done without changing the line layout and line flow in the production line. The simulation of the previous and next situation of the enterprise was carried out in the Arena 16.1 simulation program, and its control was ensured. As a result of the line balancing work, the desired target was achieved with an average of 28.5% improvement in all cycle times, and as a result, an annual gain of 554,951.6 TL for 2021 and 725,705.9 TL for 2022 was calculated with a workforce of 8537.7 hours.

**Keywords:** Line balancing, condenser production, Yamazumi, production performance.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Isı transferi, farklı mekanizmalar ile gerçekleştirilmektedir [1]. Isı değiştiricisi, iki akışın karışmadan ısı alışverişinde buldukları düzeneklere verilen isimdir [2]. Isı değiştiricilerde akışkanlar, birbirleri ile karıştırılmadan bir yüzeyle birbirlerinden ayrılır ve bu yüzeyde ısı geçişi yapılır [3]. Isı değiştiriciler yapı özelliklerine göre ayrılırlar. Dört ana tipi; borulu, plakalı, rejeneratif ve gövde borulu tipler olarak verilebilir [4].

Isı değiştiricileri genel olarak; akış düzenlemelerine ve konstrüksiyon tiplerine göre sınıflandırılmaktadır. En basit ısı değiştirici tipi, iç içe eş eksenli iki boru içinde, sıcak ve soğuk akışkanların birbirine göre aynı veya ters doğrultuda hareket etmesi ile gerçekleştirilebilir [5]. Yapılan bu çalışmada, buzdolaplarında soğutma komponentlerinden biri olarak kullanılan kondenserin, üretimi yapılan bir işletmedeki hat dengeleme

çalışmasına yer verilmiştir. Hat dengeleme çalışmasında sonuçları karşılaştırmak ve kazanımları hesaplayabilmek adına, önceki ve sonraki durum olarak iki bölüm oluşturulmuştur. Problem karmaşık yapıdadır, operatör sayıları ve proses çevrim süreleri her proses adımı için aynı değildir. Proseste aksiyon planı oluşturularak uygulamalı olarak hat dengelemesi yapılmış olup, yapılan çalışmanın doğruluğunu göstermek adına Arena 16.1 programında yapılan simülasyon çalışması ile çalışmanın doğruluğu sağlanmıştır.

Özcan ve Yıldırak çalışmalarında; karton üretimi yapılan bir işletmede, üretim süreçlerinden bir tanesini Arena programında simülasyon çalışması yaparak modellemişlerdir. Bu çalışmada, dört farklı senaryo üzerine dört farklı simülasyonun sonuçları incelenmiştir. Çevrim süresi en düşük, en yüksek üretim oranı ve kullanım oranı ile en verimli model senaryo 3 olarak belirlenmiştir [6].

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : oguzozan.yolcan@dpu.edu.tr

Sabadka vd., çalışmalarında, otomotiv şanzıman montaj hattında üretim kapasitesini arttırmak için Yamazumi yöntemi kullanılmıştır. Üç adet montaj hattı seçilmiş ve gereksiz faaliyetler kaldırılarak iş gücü yükleri dengelenmiştir. Darboğaz noktaları giderilerek montaj süreleri kısaltılmıştır [7].

Ariyanti vd., çalışmalarında, otomatik motor parçası olan özel bir braketin üretimini ele almışlardır. Üretim istasyonunda meydana gelen bir gecikmeden dolayı hedef üretim adetlerine ulaşamaması sonucu Yamazumi yöntemini kullanarak hat dengeleme çalışması yapmışlardır. Hat verimliliğinde %19,14 artış sağlanarak üretim adetleri arttırılmıştır [8].

Erozan ve Müminoğlu çalışmalarında, otomobil yan sanayi üreticisinin, büyük markalardan birine üretilen ön ve arka koltuk kılıflarını üreten hat incelenmiştir. İlk olarak üretimdeki hat denge kaybının ortaya çıkarmak için mura analizinden yararlanılmıştır. Analiz ile; katkı değeri olmayan, yarı katkı değeri olan, katkı değeri olan aktivite tanımlarıyla istasyonlar sınıflandırılmıştır. Toplam 8 istasyon incelenerek en büyük hat denge kaybının ortalama %41,43 olduğu elde edilmiştir. Sonrasında hat dengeleme için her istasyondan 10 çevrim süre alınmış, 8 olan istasyon sayısı hat dengeleme sonrası 10'a çıkarılmıştır. Hat denge kaybında %5,17 oranında azalma olmuştur. Parti tipinden tek parça akışı ile üretime geçilerek verimlilikte artış gözlenmiştir [9].

Hıdımoğlu, torna tezgahlarında kullanılan dış çap kateri üretimi ve montaj hattı için bir çalışma yapmıştır. Yapılan çalışmada; nümerik çözümleme yöntemi kullanılmış ve verimlilik hesaplama adıyla bir program hazırlanarak maksimum etkinlik ve üretim hacmi hesapları yapılmıştır. Hat dengeleme sonrası saatlik üretim adetlerinde ve hat etkinliğinde artış görülürken, ürünlerin çevrim sürelerinde düşüşler görülmüştür [10].

Bu çalışmada, Hat Dengeleme bölümünde hat dengelemenin öneminden ve Yamazumi Diyagramından bahsedilmiş, örnek bir hat dengeleme çalışması ele alınmıştır. Sonuçlar ve Tartışma bölümünde ise iyileştirme öncesi ve sonrası durumlar değerlendirilerek, sonuçlar paylaşılmıştır.

## 2. HAT DENGELEME (LINE BALANCING)

Hat dengeleme kavramının temeli, yalın üretim sistemlerinden gelmektedir. Yalın üretim bir işletmenin her bir faaliyetinde bulunan israf ve gecikmeleri yok ederek faaliyetin katmış olduğu değeri maksimize eden üretim sistemleridir. Yalın sistemlerin hedefi muda olarak adlandırılan bu sekiz israfı ortadan kaldırmaktır. Bu sekiz israfı açıklamak gerekirse; fazla üretim, fazla işlem, gereksiz taşıma, gereksiz hareket, bekleme, hatalı üretim, fazla stok, çalışandan az yararlanma olarak sıralanabilir. Mudaları ortadan kaldırarak gerek duyulduğunda ürün ve hizmet üretmek ve sürekli iyileştirmek amaçlanır [11].

Üretimi yapılacak ürün için hat dizaynı yapıldığında, ürün için yapılacak işlemlerin arasında süre farklarının

dengelenmesi problemi ortaya çıkar. Yapılması gereken işlerin iş istasyonlarına, kayıp süreleri minimuma indirecek şekilde eşit olarak atanması "hat dengelemesi" denir. Hat dengelemedeki en önemli madde, hat üzerinde aynı işlem zamanına sahip iş istasyonu sayısını veya çevrim süresini en az hale getirmektir [12].

Montaj hattı dengelemenin birden çok amacı vardır. Malzeme akışını düzenli olarak sağlamak, işlemlerin kısa sürede tamamlanmasını sağlamak, çalışma sürelerini iş istasyonları arasında dengeli bir şekilde dağıtmak, üretimdeki maliyetleri düşürmek, iş istasyonu sayısını minimuma indirmek, üretim kapasitesini ve insan gücünü en üst düzeyde kullanmak gibi amaçlar verilebilir [12].

Hat dengeleme çalışmalarında; prosesleri tek bir istasyonda uygun şekilde birleştirmeye çalışılabilir. Böylece çalışılan istasyon sayısı en aza indirilebilmektedir. En iyi birleşme ise, en az süre ve en fazla verimlilik ile sonuçlanacak şekilde yapılmış olmalıdır [13].

Hat dengelemede, yapılan çalışmalar sonrası yeni duruma geçiş, değişim olarak adlandırılır. Hat dengelemenin bu değişimdeki amacı, maliyetleri en aza indirmektir [14].

Hat dengeleme çalışmalarında bazı terimler kullanılır. Bunları açıklamak gerekirse: Çevrim süresi: Bir proses tarafından ürün veya parça tamamlama sıklığı olarak tanımlanır. Bir operatörün bir çevrim içinde üstlendiği iş elemanları yerine geçen süre olarak da açıklanabilir [15].

Takt süresi (Üretim Temposu): Müşterinin bitmiş ürünü istediği tempodur. Kullanılabilir vardiya zamanı, müşterinin bir vardiya için istediği ürün miktarına bölünerek bulunur [16].

Takt süresi:

$$\frac{\text{Vardiyada kullanılabilen iş zamanı}}{\text{Vardiya başına müşteri talep miktarı}} \quad (1)$$

İş akışı: Ürünün üretimi sırasında başında geçmiş olan faaliyetleri gerçek sırası ile gösteren şemadır. Şemada işlem ve kontrol faaliyetleri gösterilir [17].

### 2.1. Yamazumi Diyagramı (Yamazumi Diagram)

Çevrim süresi proseslerin tamamlanması için geçen süre olarak tanımlanır. Operatörün işe başlamasından işi bitirene kadar geçen süre olarak geçer. Yamazumi ise hat dengeleme yöntemlerinde kullanılan bir araçtır. Her operatör için toplam çevrim süreleri grafik halinde gösterilir [7].

Şekil 1'deki gibi örnek yamazumi grafiği oluşturulurken tüm proseslerin ayrıntılı olarak bilinmesi gerekmektedir. Oluşturulan grafikte işlem sürelerinin takt süresi aşıp aşmadığı görülmektedir. Ürünlerin takt süresi aşıyorsa proses süreleri takt süresine düşürmek için bir takım aksiyonlar alınmalıdır [7].

Yamazumi grafiğinde prostedeki tüm işlemlerin süresi yer alır. Bu grafik çevrim sürelerini azaltmak, prosesi düzenlemek, mudaları ortadan kaldırmak ve iş

yüklerini dengeli bir şekilde dağıtmak için kullanılan bir araçtır. Bu işlemler yapılırken grafikler algılamayı kolay hale getirmektedir [8].

## 2.2. Hat Dengeleme Çalışması Uygulaması (Line Balancing Implementation)

Hazırlanmış olan çalışmada, ısı değiştirici türlerinden olan kondenser üretim hattındaki hat dengeleme problemi üzerine çalışma yapılmıştır. Üretim hattında 10 çeşit farklı koddaki kondenser üretimi yapılmaktadır. Kondenser hattında üretilen ürünler katma değeri yüksek olup yıllık üretim adeti fazla olan ürünlerdir.

Kondenserlerin günlük üretim hedefi 820 adettir. Fakat gün sonunda maksimum 450 adet ürün üretilebildiği tespit edilmiştir. Üretim hedefine göre üretim adetleri oranı %52,4 olarak çıkmaktadır. İstenilen hedefe ulaşmak için, üretim adetlerinin %82,2 oranında artırılması gerekmektedir.

Üretilmesi gereken ürün:  $820 \frac{\text{adet}}{\text{gün}}$

Takt süresi:  $(3600 \times 9) / 820 = 39,51 \text{ s}$  (2)

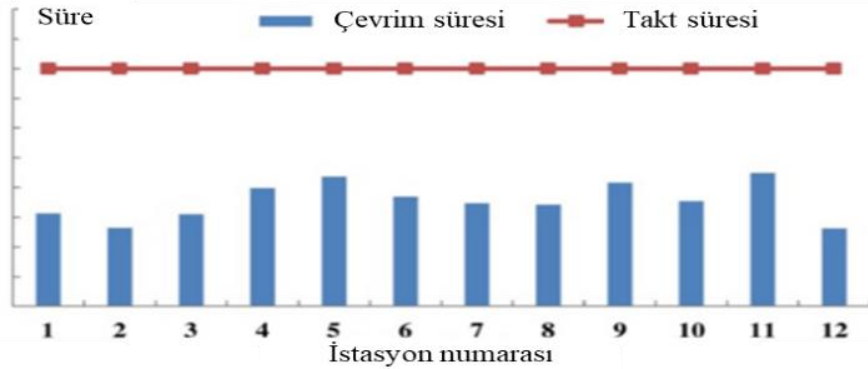
## 2.3. Hat dengeleme Öncesi Durum (State Before Line Balancing)

Üretimi yapılan kondenserler için, üretim adımlarını sırası ile vermek gerekirse; boru kesim, uç kesim, tel kesim, tel kaynak, uç büküm, gruplama, sabitleme, uç kaynak, kaçak testi, kaplama ve ambalajlama olarak verilebilir.

Boru kesim ve uç işlem operasyonlarında bir operatör, tel kaynak ve uç bükümde bir operatör çalışırken diğer her bir proseste bir operatör çalışmaktadır.

Proseslerin süreleri Çizelge 1’ deki gibi verilmektedir. Çizelge 1 incelendiğinde, üretim sürelerinin dengesiz olduğu görülmektedir. Bu bölümlerde kullanılan makineler, tek bir üretim hattına üretim yapmamaktadır. Diğer üretim hatlarına da ürünler üretilmektedir. Bu bölümde; tel kaynak, uç büküm, gruplama, sabitleme ve uç kaynak operasyonlarına hat dengeleme çalışması yapılmıştır.

Tel kaynak ve uç kaynak arasındaki operasyonlarda, süresi en fazla olan proses gruplama işlemidir. Üretim hattının performansını gruplama işlemi belirlemektedir.



Şekil 1. Yamazumi grafiği (Yamazumi Diagram) [13]

Çizelge 1. Proses süreleri-önceki durum (Cycle times before line balancing)

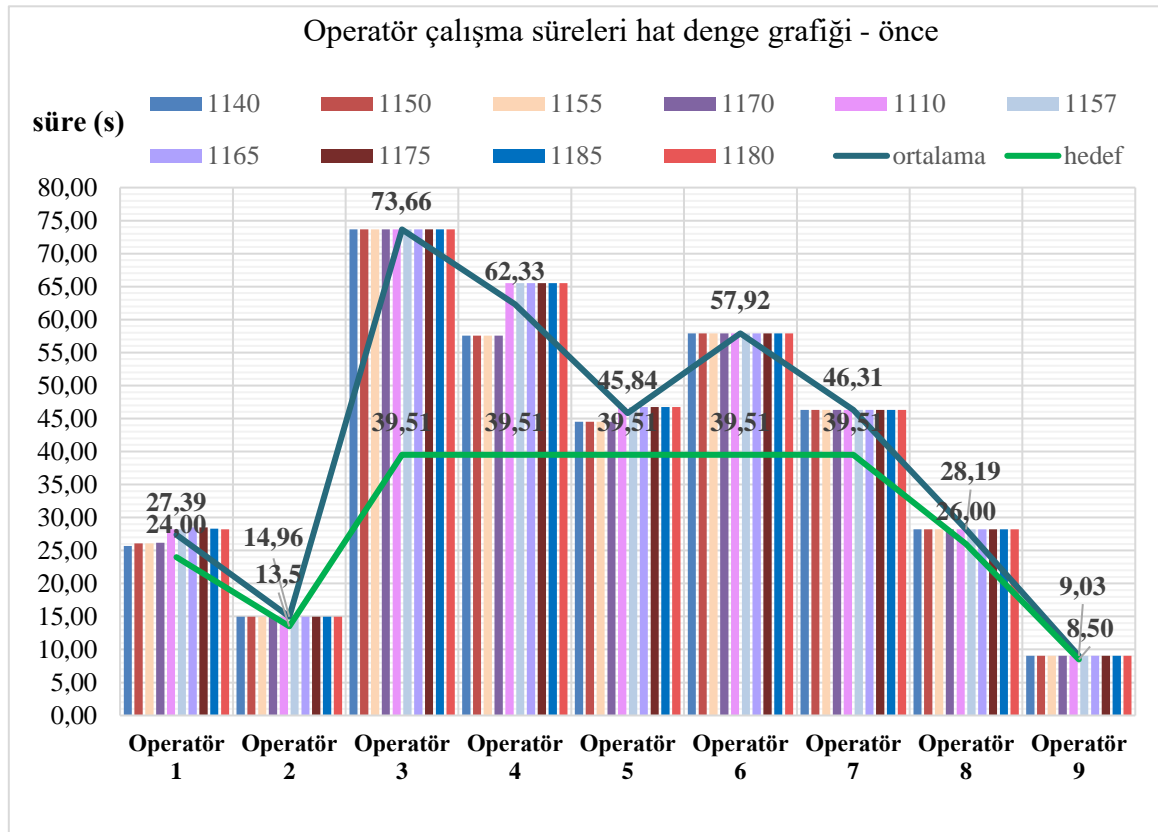
Ürün kodları	Boru kesim (s)	Uç işlem (s)	Tel kesim	Tel kaynak (s)	Uç büküm (s)	Gruplama (s)		Sabitleme (s)	Kaynak (s)	Kaçak testi (s)	Kaplama (s)	Ambalaj (s)
						4 raf küçük	4 raf büyük					
1140	13,80	10,65	14,25	19,95	50,20	54,80		42,40	52,65	44,10	26,85	8,60
1150	14,20	10,65	14,25	19,95	50,20	54,80		42,40	52,65	44,10	26,85	8,60
1155	14,20	10,65	14,25	19,95	50,20	54,80		42,40	52,65	44,10	26,85	8,60
1170	14,30	10,65	14,25	19,95	50,20	54,80		42,40	52,65	44,10	26,85	8,60
1110	16,20	10,65	14,25	19,95	50,20		62,40	44,50	52,65	44,10	26,85	8,60
1157	16,20	10,65	14,25	19,95	50,20		62,40	44,50	52,65	44,10	26,85	8,60
1165	16,50	10,65	14,25	19,95	50,20		62,40	44,50	52,65	44,10	26,85	8,60
1175	16,50	10,65	14,25	19,95	50,20		62,40	44,50	52,65	44,10	26,85	8,60
1185	16,30	10,65	14,25	19,95	50,20		62,40	44,50	52,65	44,10	26,85	8,60
1180	16,20	10,65	14,25	19,95	50,20		62,40	44,50	52,65	44,10	26,85	8,60

Çizelge 2’de operatörlerin çalışma süreleri verilmiştir. Bu süreler göre en fazla çalışan operatör üçüncü operatördür. Birinci operatör boru kesim ve uç kesim işlemlerini yapmaktadır. Tel kesim işlemini de ayrı bir üretim hattında ikinci operatör gerçekleştirmektedir.

Üçüncü operatör tel kaynak ve uç büküm işlemlerinden sorumludur. Dördüncü operatör gruplama işlemini yapmaktadır. Beşinci operatör sabitleme, altıncı operatör uç kaynak, yedinci operatör kaçak testi, sekizinci operatör kaplama ve dokuzuncu operatör ambalaj işlemlerinden sorumlu olmaktadır.

Çizelge 2. Operatör çalışma süreleri-önceki durum (Operator working period before line balancing)

Ürün kodları	Operatör 1	Operatör 2	Operatör 3	Operatör 4	Operatör 5	Operatör 6	Operatör 7	Operatör 8	Operatör 9	Toplam süre (s)
1140	25,67	14,96	73,66	57,54	44,52	57,92	46,31	28,19	9,03	357,80
1150	26,09	14,96	73,66	57,54	44,52	57,92	46,31	28,19	9,03	358,22
1155	26,09	14,96	73,66	57,54	44,52	57,92	46,31	28,19	9,03	358,22
1170	26,20	14,96	73,66	57,54	44,52	57,92	46,31	28,19	9,03	358,32
1110	28,19	14,96	73,66	65,52	46,73	57,92	46,31	28,19	9,03	370,50
1157	28,19	14,96	73,66	65,52	46,73	57,92	46,31	28,19	9,03	370,50
1165	28,51	14,96	73,66	65,52	46,73	57,92	46,31	28,19	9,03	370,82
1175	28,51	14,96	73,66	65,52	46,73	57,92	46,31	28,19	9,03	370,82
1185	28,30	14,96	73,66	65,52	46,73	57,92	46,31	28,19	9,03	370,61
1180	28,19	14,96	73,66	65,52	46,73	57,92	46,31	28,19	9,03	370,50
Ortalama	27,39	14,96	73,66	62,33	45,84	57,92	46,31	28,19	9,03	365,63



Şekil 2. Operatör süreleri hat denge grafiği-önceki durum (Chart of line balancing of operator working period before line balancing)

Şekil 2' de operatörlerin çalıştığı sürelerin hat denge grafiği verilmiştir. Verilen sürelerin, hedef sürelerden daha uzun ve değişken olduğu grafikten görülmektedir. Lacivert çizgi ölçülen ortalama işlem süresini, yeşil çizgi ise istenilen hedef süresini göstermektedir.

#### 2.4. Hat Dengeleme Öncesi Arena Simülasyon (Arena Simulation Before Line Balancing)

Arena programı Rockwell Automation tarafından geliştirilen bir programdır ve bu programda Siman simülasyon dilini kullanılmıştır. Arena programı bir sistemin üretim performansını ölçmek için kullanılmaktadır [18].

Mevcut durumda verilen sürelerle ve üretim akış sırasına göre Arena 16.1 kullanılarak simülasyon yapılmıştır. Simülasyon sırasında create, assign, process ve dispose modülleri kullanılmıştır. Simülasyondan alınan değerler gerçekte üretimde alınan değerlerle örtüşmekte olup Şekil 3'de verildiği gibi simülasyon yapılmıştır.

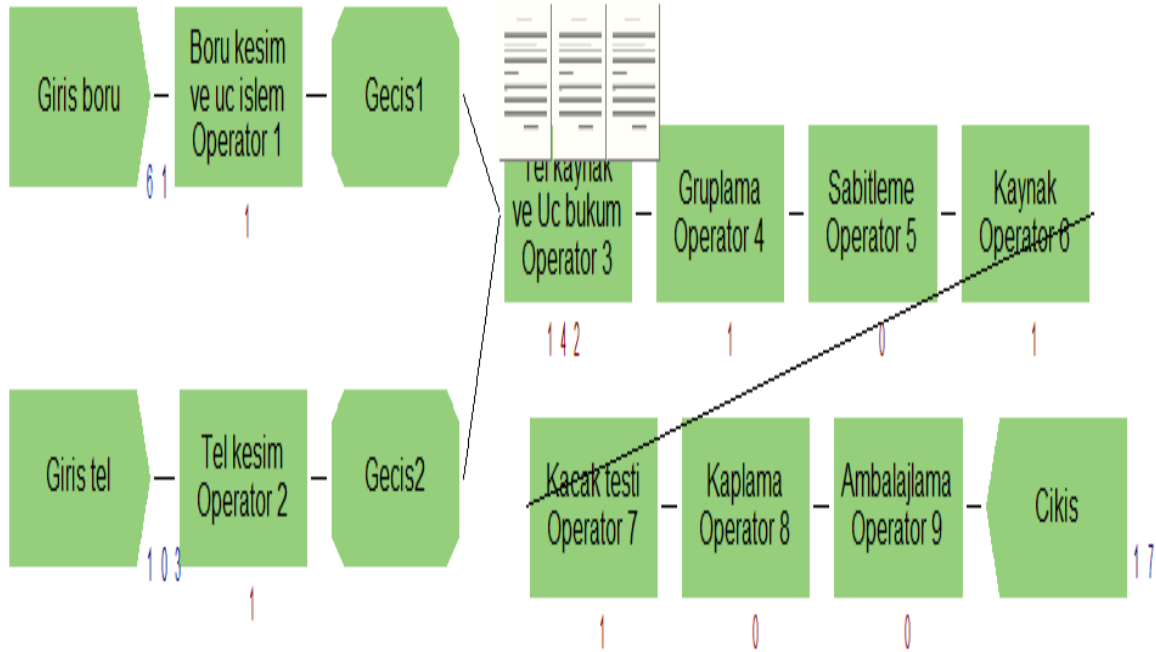
Mevcut durum için yapılan simülasyon sonunda; reel durumda gerçekleşen üretim adetleri ile programda

gerçekleştirilen simülasyon sonucundan elde edilen üretim adetlerinin arasındaki farkın %2 olduğu görülmektedir. Reel üretim değerleri ile simülasyon sonucu elde edilen değerler birbirine yakın çıkmıştır, bu sayede gerçekleştirilen simülasyonun doğruluğu sağlanmıştır.

#### 2.5. Aksiyon Planı (Action Plan)

Hat dengeleme çalışmalarında, kondenser hattının hat dengesini sağlamak ve verilen hedeflere ulaşmak amacıyla aksiyon planı listesi hazırlanmıştır. Hazırlanan aksiyonlar listesinde yer alan her bir maddeye, ayrı ayrı termin süresi verilerek, devreye alındığı tarihten itibaren takip edilmekte ve ihtiyaç durumlarında güncellenerek yeni aksiyonlar eklenmektedir. Bu aksiyonların verimli bir şekilde tamamlanabilmesi için üç aylık bir zaman dilimi tanınmıştır.

Aksiyon planı Çizelge 3'de görüldüğü gibi hazırlanmış olup, aksiyon listesinde toplam 26 adet aksiyon yazıldığı görülmektedir. Çalışmalarda, bazı aksiyonlar terminlerinden önce bitirilirken, termin tarihinden sonra tamamlanan bazı aksiyonlar da yer almaktadır.



Şekil 3. Arena programı simülasyon çıktısı-önceki durum (Arena simulation output before line balancing)

Çizelge 3. Hat dengeleme aksiyon planı listesi (Action plan list for line balancing)

Hat Dengeleme Aksiyon Planı															
Sıra	Problem	Aksiyon	Aksiyon Durumu/ Haftalar												Termin
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	Boru kesim kalitesi ve performansı	Boru kesme makinesinde kesme bıçakları çok eskimiş. Bıçaklar sürekli kırılıyor; süre kaybı yaşıyor. Bıçaklar daha kaliteli bir malzemeden tedarik edilmeli ve periyodik olarak değiştirilmesi sağlanmalı.			√									H3	
2	Boru kesim hızı	Boru kesim makinesinde kesim hızı arttırılacak; hız artırımını için ilgili mekanizması yenilenmeli.				√								H4	
3	Makine yerleşimi	Uç işlem makinesi boru kesim makinesine uzak yerleştirilmiş. Makine yeri değiştirilerek aradaki mesafe kısaltılmalı.			√									H3	
4	Makine performansı	Al boru uç form verme makinesi yavaş çalışıyor, hızlandırılabilir mi incelenecek				√								H4	
5	Makine performansı	Tel kesim makineleri tel kesim hızı arttırılmalı; yaşanan arızalar giderilmeli. Makinelerin daha sık bakım yapılması için periyodik bakım planı gözden geçirilmeli.				√					√			H4	
6	Makine performansı	Tel kaynak makineleri çalışırken makineler çok sarsıntılı çalışıyor. Bu da performanslarını etkiliyor. Makinelerin mekanizması kontrol edilmeli.							√					H5	
7	Üretim adeti	Tel kaynak makinelerinde malzemeler tek tek üretiliyor. İkili veya üçlü üretim yapılabilir mi incelenmeli ve devreye alınmalı.								√				H8	



Çizelge 4. Hat dengeleme aksiyon planı listesi (Action plan list for line balancing)

Hat Dengeleme Aksiyon Planı																
Sıra	Problem	Aksiyon	Aksiyon Durumu/ Haftalar												Termin	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
8	Makine performansı	Ürünler uç büküm işlemi yapılırken bazı bükümler manuel olarak yapılıyor. Hatalı üretime ve operatörlerin yorulmasına sebep olarak üretim adetlerinde düşüklüğe sebep oluyor. Büküm işlemi %100 otomatik hale getirilmeli.											√			H9
9	Malzeme karışıklığı	Uç büküm işleminde malzemeler yığın halinde üretiliyor. Ürünler birbirine benzediği için karıştırılabiliyor, bu da yanlış üretime sebep oluyor. Süre kaybı ve üretimde düşüş yaşanıyor. Karışıklığı gidermek için raflar için araba yapılacak, tanımlanan yerlere istifleme yapılarak karışıklık giderilecek.											√			H6
10	Makine performansı	Gruplama işlemleri için kullanılan braket birleştirme makinesi arızalı çalışıyor, braketlerin montajı için operatör iki kez makineyi çalıştırıyor. Makineye revizyon yapılarak yenilenmeli												√		H7
11	Malzeme	Gruplamada işlem süreleri değişken. Braket montajı yapılırken malzeme kaynaklı süreler uzayabiliyor. Tedarikçi ile görüşülerek malzeme kalitesinde iyileşme sağlanmalı.											√			H7
12	Hammadde akış	Gruplama masası çok düzensiz yapılmış ve eskimiş. Masa yenilenmeli, ergonomik hale getirilmeli. Operatör çalışma şekilleri iyileştirilmeli.												√		H8

Çizelge 5. Hat dengeleme aksiyon planı listesi (Action plan list for line balancing)

Hat Dengeleme Aksiyon Planı															
Sıra	Problem	Aksiyon	Aksiyon Durumu/ Haftalar												Termin
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
13	Zaman kaybı	Sabitleme işlemlerinde kullanılan vidalar ve pullar poşet içinde ayrı ayrı geliyor. Operatör birleştirme yaparken zaman kaybı yaşanıyor. Pullu vida tedarik edilerek zamandan tasarruf edilmeli.										√			H8
14	Ergonomi	Sabitlemede kullanılan vida makinesi yenilenecek, daha hafif ve küçük bir cihaz alınmalı.											√		H9
15	Kaynak dumanı	Kaynağın oluşturduğu duman operatörleri rahatsız ediyor, görüntü kirliliğine de sebep oluyor. Havalandırmalar kontrol edilerek temizlenmeli.						√							H6
16	Kaynak	Kaynak işlemlerinde malzemelerin zarar görmemesi için kullanılan plakalar yenilenmeli, daha kalın plakalarla değiştirilerek malzemelerin ömrü uzatılmalı.										√			H4
17	Makine kalibrasyonu	Kaçak testinde test süreleri gözden geçirilmeli, malzemeler testten geçemediği için zaman zaman ikinci test yapılıyor. Makinelere kalibrasyon yapılmalı.											√		H10
18	Makine performansı	Malzemeler kaçak testi cihazlarında ikili test edilerek süre kazanımı sağlanmalı.											√		H10

Çizelge 6. Hat dengeleme aksiyon planı listesi (Action plan list for line balancing)

Hat Dengeleme Aksiyon Planı															
Sıra	Problem	Aksiyon	Aksiyon Durumu/ Haftalar												Termin
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
19	Kaplama miktarı	Kaplama prosesinde arabalara yüklenerek kaplanan ürünler için optimizasyon çalışması yapılmalı, tek seferde kaplanan ürün miktarı sayısı arttırılmalı.					√							H5	
20	Ambalaj	Ambalajlama sırasında malzemelerin kontrolü ve paketlenmesi karmaşık yapıyor. Operatörler rastgele çalışıyor. İşlem sıraları belirlenerek standart çalışma tablosu hazırlanmalı, işlemler sıra ile yapılmalı.							√					H8	
21	Ambalaj	Ambalajlama yapılan masalar küçültülerek aralardaki yürüme ve malzeme taşıma zaman kayıpları önüne geçilmeli.										√		H11	
22	Üretim adetleri	Makinelere sayaç eklenerek hangi operatörün kaç adet ürettiği belirlenmeli. Performans takibi yapılmalı.										√		H11	
23	Ara stok	Hat dengeleri kurulduktan sonra maksimum ara stok miktarları belirlenerek takip edilmeli.										√		H11	
24	Üretim performansı	Üretim adetlerini ve performansları gösteren görsel elektrikli pano hatta asılarak saatlik güncellemeler ile performans takibi yapılmalı; hedefin altına düşen operasyonlara müdahale edilmeli.											√	H12	

Çizelge 7. Hat dengeleme aksiyon planı listesi (Action plan list for line balancing)

Hat Dengeleme Aksiyon Planı															
Sıra	Problem	Aksiyon	Aksiyon Durumu/ Haftalar												Termin
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
25	Üretim performansı	Hatların üretim performansı takip edilmeli, güncelleme yapılarak üretim oranları izlenmeli; gerekiyorsa hat dengeleri yeniden kurulmalı.												√	H12
26	Üretim performansı	Tüm çalışmalar tamamlandıktan sonra hat görselleştirilmeli; boyama, görsel talimatların yenilenmesi, akış yollarının belirginleştirilmesi, aydınlatma eklenmesi yapılmalı.												√	H13

### 2.6. Hat dengeleme Sonraki Durum (State After Line Balancing)

Üretim hattı için hazırlanan aksiyonlar, adım adım ve sırayla yapılmıştır. Tamamlanan her aksiyon sonrası hat incelenerek operatörlerin işleri standart hale getirmesi için standart iş listeleri hazırlanmış olup,

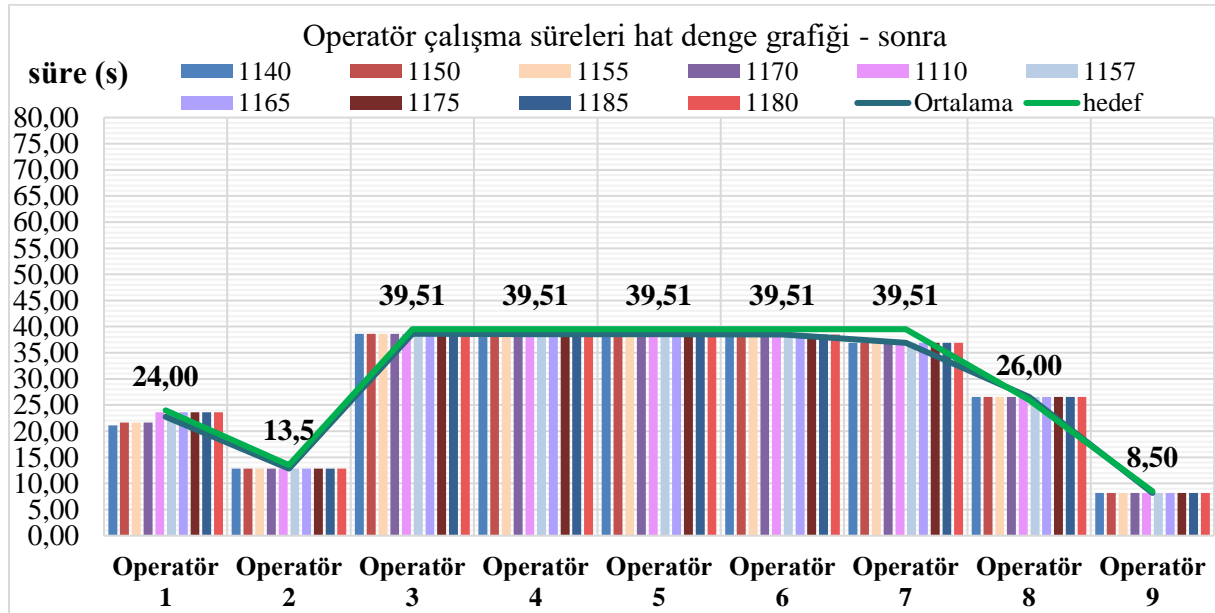
eğitim planı hazırlanarak aktarılmıştır. Yapılan iyileştirme çalışmaları sonucunda, verimlilik oranında ve üretim adetlerindeki artışlar izlenmiş olup aksiyonların etkisi görülmüştür. Sonuçlar Çizelge 4, Çizelge 5 ve Şekil 4'te görülmektedir.

Çizelge 4. Proses süreleri-sonraki durum (Cycle times after line balancing)

Ürün kodları	Boru kesim (s)	Uç işlem (s)	Tel kesim	Tel kaynak (s)	Uç büküm (s)	Gruplama (s)		Sabitleme (s)	Kaynak (s)	Kaçak testi (s)	Kaplama (s)	Ambalaj (s)
						4 raf küçü k	4 raf büyü k					
1140	9,80	10,30	12,20	10,20	26,60	36,75		36,70	35,00	35,15	25,30	7,80
1150	10,30	10,30	12,20	10,20	26,60	36,75		36,70	35,00	35,15	25,30	7,80
1155	10,30	10,30	12,20	10,20	26,60	36,75		36,70	35,00	35,15	25,30	7,80
1170	10,30	10,30	12,20	10,20	26,60	36,75		36,70	35,00	35,15	25,30	7,80
1110	12,20	10,30	12,20	10,20	26,60		36,75	36,70	35,00	35,15	25,30	7,80
1157	12,20	10,30	12,20	10,20	26,60		36,75	36,70	35,00	35,15	25,30	7,80
1165	12,20	10,30	12,20	10,20	26,60		36,75	36,70	35,00	35,15	25,30	7,80
1175	12,20	10,30	12,20	10,20	26,60		36,75	36,70	35,00	35,15	25,30	7,80
1185	12,20	10,30	12,20	10,20	26,60		36,75	36,70	35,00	35,15	25,30	7,80
1180	12,20	10,30	12,20	10,20	26,60		36,75	36,70	35,00	35,15	25,30	7,80

Çizelge 5. Operatör çalışma süreleri-sonraki durum (Operator working period after line balancing)

Ürün kodları	Operatör 1	Operatör 2	Operatör 3	Operatör 4	Operatör 5	Operatör 6	Operatör 7	Operatör 8	Operatör 9	Toplam süre (s)
1140	21,11	12,81	38,64	38,59	38,54	38,50	36,91	26,57	8,19	259,84
1150	21,63	12,81	38,64	38,59	38,54	38,50	36,91	26,57	8,19	260,37
1155	21,63	12,81	38,64	38,59	38,54	38,50	36,91	26,57	8,19	260,37
1170	21,63	12,81	38,64	38,59	38,54	38,50	36,91	26,57	8,19	260,37
1110	23,63	12,81	38,64	38,59	38,54	38,50	36,91	26,57	8,19	262,36
1157	23,63	12,81	38,64	38,59	38,54	38,50	36,91	26,57	8,19	262,36
1165	23,63	12,81	38,64	38,59	38,54	38,50	36,91	26,57	8,19	262,36
1175	23,63	12,81	38,64	38,59	38,54	38,50	36,91	26,57	8,19	262,36
1185	23,63	12,81	38,64	38,59	38,54	38,50	36,91	26,57	8,19	262,36
1180	23,63	12,81	38,64	38,59	38,54	38,50	36,91	26,57	8,19	262,36
Ortalama	22,77	12,81	38,64	38,59	38,54	38,50	36,91	26,57	8,19	261,51



Şekil 4. Operatör süreleri hat denge grafiği-sonraki durum (Chart of line balancing of operator working period after line balancing)

## 2.7. Hat Dengeleme Sonrası Arena Simülasyon (Arena Simulation After Line Balancing)

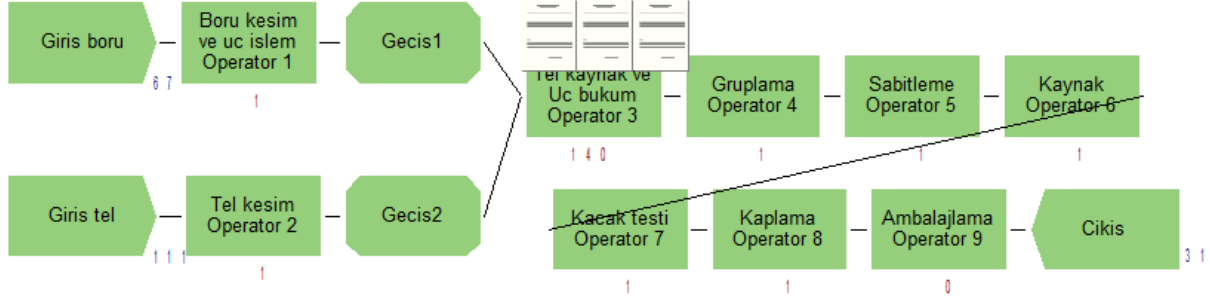
İyileştirmeler yapıldıktan sonra, yeni süreler ile sonraki durum için Arena programında simülasyon yapılmıştır. Verilen süreler için simülasyondan alınan üretim çıktıları Şekil 5'deki gibi 20 dakikalık sürede 31 adet, gün sonunda ise 837 adet ürün üretilebildiği görülmektedir. Gerçekte alınan üretim adetleri ile simülasyondan alınan adetlerin örtüştüğü görülmektedir.

## 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Hat dengeleme çalışmaları için çalışma yapılan kondenser hattında, iyileştirmeler öncesi ve sonrası durumlar karşılaştırılmıştır. Üretim hattının yeri ve yerleşimi değiştirilmeden, operatörlerin çalışma alanları düzenlenmiş ve daha ergonomik bir hale getirilmiştir. Operatörlerin yapacakları işler, çalışma süreleri ve çalışma sıraları, standart iş tablosu halinde görsel hale getirilerek, hatlarda operatörlerin kolayca

ulaşabileceği yerlere eklenmiştir. Yapılan iyileştirmeler sonrası önceki durumda dengesiz oranda ara stok mevcuttu, çalışma sonrası stok miktarları dengelenerek azaltılmıştır. Çalışma sonunda hattaki

verimliliklerde artış yaşanarak üretim adetlerine yansımıştır. Sürelerin kazanım miktarlarının karşılığı, Çizelge 6'daki gibi 2021 ve 2022 yılı için hesaplanmaktadır.



Şekil 5. Arena programında simülasyon-sonraki durum (Arena simulation output after line balancing)

Çizelge 6. Kazanım tablosu (Achievement table)

Ürün kodları	Toplam süre s	Toplam süre s	Kazanım miktarı s	Üretim adeti	Kazanım miktarı saat	Kazanım miktarı TL 2021	Kazanım miktarı TL 2022
1140	357,80	259,84	97,96	29.520	803,2	52.210,0	68.274,6
1150	358,22	260,37	97,85	29.520	802,4	52.154,1	68.201,5
1155	358,22	260,37	97,85	29.520	802,4	52.154,1	68.201,5
1170	358,32	260,37	97,96	29.520	803,2	52.210,0	68.274,6
1110	370,50	262,36	108,14	29.520	886,7	57.638,6	75.373,6
1157	370,50	262,36	108,14	29.520	886,7	57.638,6	75.373,6
1165	370,82	262,36	108,46	29.520	889,3	57.806,5	75.593,1
1175	370,82	262,36	108,46	29.520	889,3	57.806,5	75.593,1
1185	370,61	262,36	108,25	29.520	887,6	57.694,6	75.446,8
1180	370,50	262,36	108,14	29.520	886,7	57.638,6	75.373,6
<b>Toplam</b>					<b>8.537,7</b>	<b>554.951,6</b>	<b>725.705,9</b>

İyileştirmeler yapıldıktan sonra üretim hattında toplam çevrim sürelerinde, ortalamada %28,5 oranında iyileştirme yapıldığı görülmektedir. Ara stok miktarları dengelenerek; operatörlerin malzeme bekleme ve fazla ara stok nedeni ile olan karışıkları önüne geçilmiştir, kötü görüntü de ortadan kaldırılmıştır. Sürekliliği sağlamak adına periyodik olarak denetimler yapılır hale getirilmiştir.

Süre kazanımlarının saatlik karşılığı bulunup, işletmenin genel giderleri için günlük maliyetleri ile hesaplandığında, işletmenin bu ürün grubu için yıllık kazanım miktarı hesaplanmış olur. Bu değer 2021 yılı için 65 TL olarak belirlenmiştir. 2022 yılı için ise bu değer 85 TL' dir. Çalışma 2021 yılında yapıldığı için; 2021 yılındaki kazanım 554.951,6 TL olarak elde edilmektedir. Bu çalışma 2022 yılında yapılmış olsaydı, 2022 yılı için yıllık kazanım 725.705,9 TL olarak hesaplanmaktadır.

Yapılan çalışmalar sayesinde, üretimi yapılan ürünlerin kalitesinde artış gözlemlenmiştir; hatalı üretim, eksik yapılan ürün gibi durumlar ortadan kalkmıştır. Fazla mesai durumları ise iptal edilerek, normal mesai saatlerinde üretimden alınan ürün miktarı ile sipariş adetleri karşılanmıştır [19].

#### ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

#### YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Seda KUĞU:** Verileri toplamış, verileri değerlendirmiş, sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

**Oğuz Ozan YOLCAN:** Verileri analiz etmiş, makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

**Ramazan KÖSE:** Verileri analiz etmiş, makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Genceli O. F., Parmaksızoğlu, C. "Kalorifer Tesisatı", *Miem yayinevi*, Yayın No: 352/8, İstanbul, 2016.
- [2] Çengel, Y., A., Boles, M. A., "Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik", *No-bel Matbaacılık*, 5. Baskı , İzmir, 2008.

- [3] Onat, K., Genceli, O. F., Arısoy, A., "Buhar Kazanlarının Isıl Hesapları", *Birsen yayinevi*, 3. Baskı, İstanbul, 1998.
- [4] Shah, R. K., Sekulić D.P., (2003). "Fundamentals Of Heat Exchanger Design", *John Wiley and Sons Inc*, Canada, 2003.
- [5] Incropera, F. P., DeWitt, D. P., "Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri", *Literatür Yayınları*, 4. Baskı, İstanbul, 2006.
- [6] Özcan. B., Yıldırak. E., "A Simulation Study on a Production System", *Aksaray University Journal of Science and Engineering*, 4(2), 172-186, (2020).
- [7] Sabadka. D., Molnár. V., Fedorko. G., Jachowicz. T., "Optimization of Production Processes Using the Yamazumi Method", *Advances in Science and Technology Research Journal*, 11(4), 175-182, (2017).
- [8] Ariyanti. S., Azhar. M.R., Lubis. M.S.Y., "Assembly Line Balancing with the Yamazumi Method", *IOP Conf. Series. Mateials Science And Engineering*, 1007(1), 1-8, (2020).
- [9] Erozan. İ., Müminoğlu. M., "Bir Otomobil Yan Sanayi Tedarikçisinde Dünya Klasında Üretim Uygulaması", *Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 31(3), 251-266, (2020).
- [10] Hıdımoğlu, M. B., "Montaj Hattında Kapasite Dengeleme ve Verimlilik Analizi", *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, (2022).
- [11] Krajewski, L., Ritzman, L. P., Malhotra, M. K., "Üretim Yönetimi", *Nobel Akademik Yayıncılık*, 9. Baskı, Ankara, 2014.
- [12] Tanyaş, M., Baskak, M., "Üretim Planlama ve Kontrol" , *İrfan Yayıncılık Alioğlu Matbaacılık*, 5. Baskı, İstanbul, 2013.
- [13] Kumar, R. N., Mohan, R., Gobinath, N., "Improvement in Production Line Efficiency Of Hemming Unit Using Line Balancing Techniques", *Materials Today: Proceedings*, 46(2), 1459-1463, (2021).
- [14] Fisel, J., Exner, Y., Stricker, N. ve Lanza, G., "Changeability And Flexibility Of Assembly Line Balancing As A Multi-Objective Optimization Problem" *Journal of Manufacturing Systems*, 53, 150-158, (2019).
- [15] Rother, M., Shook, J., "Görmeyi Öğrenmek", *The Lean Enterprise Institute*, Versiyon 1.2, Usa, 1999.
- [16] Rother M., Harris R., "Sürekli Akış Yaratmak, *The Lean Enterprise Institute*, Versiyon 1.0, Usa, 2001.
- [17] Kahya, E., "İş Etüdü", *Özkağıtçılık Matbaacılık*, 1. Baskı, Eskişehir, 2015.
- [18] Yıldız, A., "Benzetim Modellemesi İle Üretim Sistemlerinde Süreç Optimizasyonu ve Bir Uygulama Çalışması", *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri Anabilim Dalı Ekonometri Programı, (2010).
- [19] Kuğu, S., "Isı Değiştirici Üretim Hattında Hat ve Ürün Bazlı Hat Dengeleme Çalışması Yapılması", *Yüksek Lisans Tezi*, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, (2022)