



**ISI DEĞİŞTİRİCİ ÜRETİM HATTINDA HAT VE ÜRÜN BAZLI HAT  
DENGELEME ÇALIŞMASI YAPILMASI**

(Yüksek Lisans Tezi)

**SEDA KUĞU**

Kütahya - 2022

T.C  
KÜTAHYA DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

**ISI DEĞİŞTİRİCİ ÜRETİM HATTINDA HAT VE ÜRÜN BAZLI  
HAT DENGELEME ÇALIŞMASI YAPILMASI**

Danışman:  
Prof. Dr. Ramazan KÖSE

Hazırlayan:  
SEDA KUĞU

Kütahya - 2022

## Kabul ve Onay

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğüne,

Bu çalışma, jürimiz tarafından

Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi	İmza	
	Kabul	Red
Prof. Dr. Ramazan KÖSE (Danışman)		
Doç. Dr. Mustafa Özgür ÖTEYAKA		
Dr. Öğr. Üyesi Feridun KARAKOÇ		

## Onay

Prof. Dr. Şahmurat ARIK

Enstitü Müdürü

## **Bilimsel Etik Bildirimi**

Yüksek Lisans tezi olarak hazırladığım “Isı Değiştirici Üretim Hattında Hat Ve Ürün Bazlı Hat Dengeleme Çalışması Yapılması” adlı çalışmanın öneri aşamasından sonuçlandığı aşamaya kadar geçen süreçte bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle uyduğumu, tez içindeki tüm bilgileri bilimsel ahlak ve gelenek çerçevesinde elde ettiğimi, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığımı, bu çalışmamda doğrudan veya dolaylı olarak yaptığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu beyan ederim.

07/02//2022

Seda KUĞU

## **Özgeçmiş**

Lise eğitimini Eskişehir’ de Hoca Ahmet Yesevi Lisesi’nde tamamlamıştır. 2009 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’nü kazanmış ve 2014 yılında mezun olmuştur. 2020 yılında Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans programına başlamıştır. Şuan özel bir firmada Maliyet Analiz Sorumlusu olarak çalışmaya devam etmektedir. Değer akış haritalama üzerine hazırladığı bir adet yayınlanmış makalesi bulunmaktadır.



**ÖZET****ISI DEĞİŞTİRİCİ ÜRETİM HATTINDA HAT VE ÜRÜN BAZLI  
HAT DENGELEME ÇALIŞMASI YAPILMASI****KUĞU, Seda****Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı****Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ramazan KÖSE****Şubat, 2022, 112 sayfa**

Günümüz şartlarında rekabet içinde olan sürekli üretim yapan ve emek yoğun olarak çalışan işletmelerde hat dengeleme problemleri büyük kayıplara sebep olmaktadır. Üretimde oluşan; yarı mamul ara stok fazlalıkları, bir önceki veya bir sonraki prosesin birbirini bekleme durumları, bir operatörün çok iş yükü varken diğer operatörün daha az iş yüküne sahip olması, darboğaz noktaları gibi problemlerin ana sebebi hat dengeleme çalışması yapılmamasından kaynaklanmaktadır. Üretimde bu şekilde oluşan problemler; ürün kalitesinde düşüklüğe, üretim planlarının tutmamasına, verilen terminlerin uzamasına sebep olurken işletmede verimsiz çalışan hatlar oluşturmaktadır. Müşteri memnuniyetsizliğine kadar giden bu problemlerin çözülmesi prestij açısından da önem arz etmektedir. Yapılan bu çalışmada, eşanjör üretimi yapılan üretim hattındaki hat dengeleme problemi ele alınmıştır. Üretim hattı uzun süre gözlemlenerek hat dengesi ve yerleşim planları için senaryolar oluşturulmuş ve optimum iyileştirmeyi sağlayacak şekilde üretim düzenlenmiştir. Hat dengeleme çalışması için Arena 16.1 simülasyon programından yardım alınmıştır. Mevcut durum ve gelecek durum için oluşturulan senaryo, simule edilerek çalışma desteklenmiştir. Çalışmanın sonunda üç üretim hattında ortalama olarak çevrim sürelerinde %44,7 iyileştirme yapılarak hedef tutturulmuştur. Üretim adetlerinde de ortalama olarak %47 oranında artış sağlanmıştır. Çalışma sonucunda üretim hattının kapasitesi artırılıp setup süreleri kısaltılarak daha verimli çalışan hatlar elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hat dengeleme, ısı değiştirici, verimlilik, yalın üretim.

**ABSTRACT****LINE BALANCING WORKING WITH LINE AND PRODUCT BASED  
IN HEAT EXCHANGER PRODUCTION LINE****KUĞU, Seda****Master Thesis, Department of Mechanical Engineering****Supervisor: Prof. Dr. Ramazan KÖSE****February, 2022, 112 pages**

Line balancing problems cause great losses in continuous manufacturing and labour intensive enterprises recent conditions. The main reason for unbalancing problems describe as too much buffer stocks of semi-finished products, waiting processes for each other, differences of work load density between workers, bottleneck points ans so on. These problems lead to low product quality, to disrupt production plan, longer lenght of term since inefficient working lines occur in the factory which subjects lead to customer dissatisfaction and should bu solved in terms of reputation. In this study, line balancing problem in the production line is dealt with where the heat exchangers are produced. By observing the production line for a long time, scenarios were created for line balance and layout plans and production was arranged to ensure optimum improvement. For the line balancing Arena simülation software was used. By the created scenario current and future status were supported. As a result of the study, the target was achieved by making an average of 44,7% improvement in cycle times in three production lines. An average increase of 47% was achieved in the number of product and also more effective lines were obtained by increasing the capacity of the production line and shortening the setup times.

**Key Words:** Line balancing, heat exchanger, efficiency, lean manufacturing.

## Önsöz

Tez çalışmalarım sürecinde; beni sürekli destekleyen, bilgi birikimleri ile beni yönlendiren, tüm çalışmalarım boyunca destekçi ve pozitif davranan, hayat tecrübeleri ile hayatıma yön verirken bana yardımları olan saygıdeğer danışmanım Prof. Dr. Ramazan KÖSE hocama çok teşekkür ederim.

Çalışmalarımda yardımı geçen, tecrübelerini bana aktaran ve desteklerini esirgemeyen tüm iş arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi manevi yardımlarını ve desteğini sağlayan; aileme, kız kardeşim Eda'ya, eğitim öğretim için beni sürekli destekleyen eşime, yakın arkadaşlarıma ve tez çalışmalarım boyunca varlığı ile destekçim olan kızım Ela'ya teşekkür ediyorum.



## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	v
ABSTRACT .....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
GÖRSELLER LİSTESİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xiv
GİRİŞ .....	1

## BİRİNCİ BÖLÜM

### LİTERATÜR TARAMASI

1. LİTERATÜR TARAMASI .....	2
-----------------------------	---

## İKİNCİ BÖLÜM

### ISI DEĞİŞTİRİCİ

2. ISI DEĞİŞTİRİCİ .....	6
2.1. Isı Değiştirici Çeşitleri.....	7
2.2. Kaynak Yöntemleri.....	11
2.2.1 .Difüzyon Kaynağı.....	12
2.2.2. Kaynak Sıcaklığı.....	13
2.2.3. Diğer Faktörler.....	14

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### HAT Dengeleme Taraması

3. HAT Dengeleme Kavramı .....	16
3.1. Montaj Hattı Dengelemenin Amacı.....	18
3.2. Hat Dengelemede Temel Kavramlar .....	19
3.3. Öncelik İlişkileri Diyagramı .....	21
3.4. Montaj Hattı Dengeleme Yöntemlerinin Sınıflandırılması .....	21
3.4.1. Probleme Göre Sınıflandırma .....	21
3.4.2. Çözüm Yaklaşımına Göre Sınıflandırma .....	24
3.4.3. Benzetim (Simülasyon Tekniği) ve Arena Simülasyon Programı .....	25
3.4.4. İşlem Sürelerinin Deterministik Olup Olmamasına Göre Sınıflandırma..	26
3.5. Yamazumi.....	26
3.6. Isı Değiştirici Üretim Hattı .....	28

3.6.1. Hat Bazlı Çalışma .....	29
3.6.2. Ürün Bazlı Çalışma.....	35
3.7. Hat Dengeleme Çalışması .....	39
3.8. Önceki Durum .....	41
3.8.1. Ana Üretim Hattı .....	41
3.8.2. Hat-1 Üretim Hattı .....	49
3.8.3. Hat-2 Üretim Hattı .....	57
3.9. Arena Simülasyon Önceki Durum .....	63
3.10. Aksiyon Planı .....	65
3.11. Sonraki Durum .....	73
3.11.1. Ana Üretim Hattı .....	73
3.11.2. Hat-1 Üretim Hattı .....	80
3.11.3. Hat-2 Üretim Hattı .....	87
3.12. Arena Simülasyon Sonraki Durum.....	96

## **DÖRDÜNCÜ BÖLÜM**

### **KAZANIMLAR, SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER**

<b>4. KAZANIMLAR.....</b>	<b>97</b>
<b>SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER .....</b>	<b>104</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>107</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>107</b>
<b>DİZİN .....</b>	<b>112</b>

## TABLOLAR LİSTESİ

<b><u>Tablo</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
<b>Tablo 3.1:</b> Ana hat - Birinci operatör çalışma süreleri - önce .....	42
<b>Tablo 3.2:</b> Ana hat - İkinci operatör çalışma süreleri - önce .....	43
<b>Tablo 3.3:</b> Ana hat - Üçüncü operatör çalışma süreleri - önce .....	44
<b>Tablo 3.4:</b> Ana hat - Dördüncü operatör çalışma süreleri - önce .....	44
<b>Tablo 3.5:</b> Ana hat - Tüm operasyonların süresi ve çalışan sayıları - önce .....	45
<b>Tablo 3.6:</b> Ana hat - Operatörlerin toplam çalışma süreleri - önce .....	46
<b>Tablo 3.7:</b> Ana hat - Ara stok miktarları - önce .....	48
<b>Tablo 3.8:</b> Hat-1 - Birinci operatör çalışma süreleri - önce .....	50
<b>Tablo 3.9:</b> Hat-1 - İkinci operatör çalışma süreleri - önce .....	50
<b>Tablo 3.10:</b> Hat-1 - Üçüncü operatör çalışma süreleri - önce .....	51
<b>Tablo 3.11:</b> Hat-1 - Dördüncü operatör tüm çalışma süreleri - önce .....	52
<b>Tablo 3.12:</b> Hat-1 - Dördüncü operatör çalışma süreleri - önce .....	52
<b>Tablo 3.13:</b> Hat-1 - Beşinci operatör çalışma süreleri - önce .....	53
<b>Tablo 3.14:</b> Hat-1 - Tüm operasyonların süresi ve çalışan sayıları - önce .....	54
<b>Tablo 3.15:</b> Hat-1 - Operatörlerin toplam çalışma süreleri - önce .....	55
<b>Tablo 3.16:</b> Hat-1 - Ara stok miktarları - önce .....	56
<b>Tablo 3.17:</b> Hat-2 - Birinci operatör çalışma süreleri - önce .....	57
<b>Tablo 3.18:</b> Hat-2 - İkinci operatör çalışma süreleri - önce .....	58
<b>Tablo 3.19:</b> Hat-2 - Üçüncü operatör çalışma süreleri - önce .....	58
<b>Tablo 3.20:</b> Hat-2 - Dördüncü operatör çalışma süreleri - önce .....	59
<b>Tablo 3.21:</b> Hat-2 - Beşinci ve altıncı operatör çalışma süreleri - önce .....	59
<b>Tablo 3.22:</b> Hat-2 - Beşinci ve altıncı operatör çalışma süreleri - önce .....	60
<b>Tablo 3.23:</b> Hat-2 - Tüm operasyonların süresi ve çalışan sayıları - önce .....	60
<b>Tablo 3.24:</b> Hat-2 - Operatörlerin toplam çalışma süreleri - önce .....	61
<b>Tablo 3.25:</b> Hat-2 - Ara stok miktarları - önce .....	62
<b>Tablo 3.26:</b> Aksiyon planı listesi .....	67
<b>Tablo 3.27:</b> Ana hat - Birinci operatör çalışma süreleri - sonra .....	74
<b>Tablo 3.28:</b> Ana hat - İkinci ve üçüncü operatör çalışma süreleri - sonra .....	75
<b>Tablo 3.29:</b> Ana hat - Dördüncü operatör çalışma süreleri - sonra .....	76
<b>Tablo 3.30:</b> Ana hat - Beşinci operatör çalışma süreleri - sonra .....	76
<b>Tablo 3.31:</b> Ana hat - Tüm operasyonların süresi ve çalışan sayıları - sonra .....	77

### TABLOLAR LİSTESİ (devam)

<b>Tablo 3.32:</b> Ana hat - Operatörlerin toplam çalışma süreleri - sonra.....	78
<b>Tablo 3.33:</b> Ana hat - Ara stok miktarları - sonra .....	79
<b>Tablo 3.34:</b> Hat-1 - Birinci operatör çalışma süreleri - sonra .....	81
<b>Tablo 3.35:</b> Hat-1 - İkinci operatör çalışma süreleri - sonra .....	82
<b>Tablo 3.36:</b> Hat-1 - Üçüncü ve dördüncü operatör çalışma süreleri - sonra .....	82
<b>Tablo 3.37:</b> Hat-1 - Beşinci operatör çalışma süreleri - sonra .....	83
<b>Tablo 3.38:</b> Hat-1 - Altıncı ve yedinci operatör çalışma süreleri - sonra.....	83
<b>Tablo 3.39:</b> Hat-1 - Tüm operasyonların süresi ve çalışan sayıları - sonra.....	84
<b>Tablo 3.40:</b> Hat-1 - Operatörlerin toplam çalışma süreleri - sonra .....	85
<b>Tablo 3.41:</b> Hat-1 - Ara stok miktarları - sonra.....	86
<b>Tablo 3.42:</b> Hat-2 - Birinci operatör çalışma süreleri - sonra .....	88
<b>Tablo 3.43:</b> Hat-2 - İkinci operatör çalışma süreleri - sonra .....	89
<b>Tablo 3.44:</b> Hat-2 - Üçüncü operatör çalışma süreleri - sonra .....	89
<b>Tablo 3.45:</b> Hat-2 - Dördüncü operatör çalışma süreleri - sonra .....	90
<b>Tablo 3.46:</b> Hat-2 - Beşinci operatör çalışma süreleri - sonra .....	90
<b>Tablo 3.47:</b> Hat-2 - Tüm operasyonların süresi ve çalışan sayıları - sonra.....	91
<b>Tablo 3.48:</b> Hat-2 - Operatörlerin toplam çalışma süreleri - sonra .....	92
<b>Tablo 3.49:</b> Hat-2 -Ara stok miktarları - sonra.....	93
<b>Tablo 4.1:</b> Ana üretim hattı kazanım özet tablosu .....	98
<b>Tablo 4.2:</b> Hat-1 kazanım özet tablosu.....	100
<b>Tablo 4.3:</b> Hat-2 kazanım özet tablosu.....	102
<b>Tablo 4.4:</b> Kazanım tablosu .....	103

## ŞEKİLLER LİSTESİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: İç içe iki eksenli borulu ısı değiştirici paralel akış .....	7
Şekil 2.2: İç içe iki eksenli borulu ısı değiştirici ters akış .....	8
Şekil 2.3: Akışkanların karışmadığı çapraz akışlı ısı değiştirici.....	8
Şekil 2.4: Bir akışkanın karıştığı, diğer akışkanın karışmadığı ısı değiştirici .....	9
Şekil 2.5: Gövde borulu ısı değiştirici, bir gövde ve boru geçişli .....	9
Şekil 2.6: Borulu eşanjörlerde kullanılan bazı geometriler .....	11
Şekil 3.1: Öncelik ilişkileri diyagramı.....	21
Şekil 3.2: Hat dengeleme çalışmalarının sınıflandırılması .....	22
Şekil 3.3: Tek modellenli üretim hattı .....	23
Şekil 3.4: Karışık modellenli üretim hattı .....	23
Şekil 3.5: Çok modellenli üretim hattı .....	24
Şekil 3.6: Yamazumi grafiği.....	27
Şekil 3.7: Eşanjör üretim hattı yerleşim ve akış planı – önce.....	33
Şekil 3.8: Ana üretim hattı yerleşim planı - önce .....	34
Şekil 3.9: Hat-1 üretim hattı yerleşim planı - önce.....	37
Şekil 3.10: Hat-2 üretim hattı yerleşim planı - önce.....	39
Şekil 3.11: Arena process modelü .....	64
Şekil 3.12: Arena simülasyon hat akış düzeni - önceki durum.....	64
Şekil 3.13: Arena simülasyon sonucu - önceki durum .....	65
Şekil 3.14: Ana hat üretim hattı yerleşim planı ve hat akışı - sonra.....	80
Şekil 3.15: Hat-1 üretim hattı yerleşim planı ve hat akışı - sonra .....	87
Şekil 3.16: Hat-2 üretim hattı yerleşim planı ve hat akışı - sonra .....	94
Şekil 3.17: Eşanjör üretim hattı yerleşim ve akış planı - sonra .....	95
Şekil 3.18: Arena simülasyon sonucu - sonraki durum .....	96

**GÖRSELLER LİSTESİ**

<b><u>Görsel</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
<b>Grafik 3.1:</b> Ana hat operatör süreleri denge grafiği - önce.....	47
<b>Grafik 3.2:</b> Ana hat üretim performans grafiği – önce .....	49
<b>Grafik 3.3:</b> Hat-1 operatör süreleri denge grafiği - önce .....	55
<b>Grafik 3.4:</b> Hat-1 üretim performans grafiği – önce .....	57
<b>Grafik 3.5:</b> Hat-2 operatör süreleri denge grafiği - önce .....	62
<b>Grafik 3.6:</b> Hat-2 üretim performans grafiği – önce .....	63
<b>Grafik 3.7:</b> Ana hat operatör süreleri denge grafiği - sonra.....	78
<b>Grafik 3.8:</b> Ana hat üretim performans grafiği- sonra .....	79
<b>Grafik 3.9:</b> Hat-1 operatör süreleri denge grafiği - sonra .....	86
<b>Grafik 3.10:</b> Hat-1 üretim performans grafiği- sonra.....	87
<b>Grafik 3.11:</b> Hat-2 operatör süreleri denge grafiği - sonra .....	92
<b>Grafik 3.12:</b> Hat-2 üretim performans grafiği- sonra .....	94

**SİMGELER VE KISALTMALAR**

<b><u>Simgeler</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
c	Özgül ısı
C	Isıl kapasite
CT	Çevrim süresi
D	Difüzyon katsayısı
h	Entalpi
R	Gaz sabiti
T	Sıcaklık
U	Isı geçiş katsayısı
Q	Isı
X	Atom mesafesi
O	Aktivasyon enerji
$\eta$	Hat verimi
$\Delta T$	Sıcaklık farkı
$\dot{m}$	Akışkanın kütleli debisi
BS 499	Kaynak terimleri ve sembolleri standardı



**TEZ METNİ**

## GİRİŞ

Isı değiştiriciler; bakır boru, alüminyum boru, çelik boru, çelik tel, alüminyum sac, çelik levha, bakır tel vb. gibi başlıca malzemelerle üretilirler. Üretilmekte olan malzemeler birbirinden farklı özelliklerdedir ve her biri uygun proseslerden geçirilerek işleme alınırlar. Üretim hacmi yüksek ve değişken adetlerde olan ürünler genellikle emek yoğun olarak üretilmektedir. Bu sebeple hatlarda çalışan operatörlerde dikkat ve yetkinlik aranmaktadır. Üretim adetlerinin ve çeşitliliğın fazla olduğu bu tarz üretim yapan işletmelerde, kaliteden taviz vermeden bir takım verimlilik çalışmaları yaparak, ürünleri daha ucuza mal etmek önemlidir. Yapılan bu çalışmalar rekabet edilebilir olmak açısından da gereklilik arz eder.

Bu tez çalışmasında, ısı değiştirici sektöründe faaliyet gösteren bir firmada, yalın üretim çalışmaları kapsamında yapılan hat dengeleme çalışmalarına yer verilmiştir. Verimlilik artırma ve yalın üretim çalışmalarına büyük ölçüde önem verildiği için ısı değiştirici üretim hattı her açıdan incelenmiş ve iyileştirme noktaları belirlenerek aksiyon planları oluşturulmuştur. Hazırlanan aksiyonların takip edilip gerçekleştirilmesi sağlanmıştır, çalışmanın sonunda, en başta verilen hedefler gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda sonuçları önceden görebilmek adına Arena 16.1 simülasyon programında hazırlanan sürelere göre simülasyon yapılmış ve simülasyon programından alınan sonuçlarla reel olarak yapılan çalışmaların örtüştüğü görülmüştür.

Çalışmalar ortalama altı ay gibi bir sürede tamamlanmıştır. Altı ayın sonunda sürekliliği sağlamak için hat üzerinde takip çalışmaları devam etmiştir.

Çalışma, hat bazlı ve ürün bazlı olarak ikiye ayrılmıştır. Isı değiştirici üretiminin %80 lik kısmı benzer üretim aşamalarından geçmektedir. Bu sebeple hat dengeleme çalışmalarında hat bazlı bölümler ayrı incelenmiştir. Ürün bazlı bölümler ise birbirinden ayrılarak ürünlere özel teknik resimlerdeki belirtilen ölçü ve özelliklerde üretildiğinden ürün bazlı olarak ayrı inceleme yapılmıştır.



**BİRİNCİ BÖLÜM**  
**LİTERATÜR TARAMASI**

## 1. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde yıllar içinde yapılmış olan hat dengeleme çalışmalarına yer verilmiştir. Yapılan çalışmalara tarihsel olarak sıra ile yer verilmiştir.

Özcan ve Yıldırak (2020) hazırladıkları çalışmada; karton üretimi yapan 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.

Sabadka, Molnár, Fedorko ve Jachowicz (2020) yaptıkları çalışmada, 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.

Ariyanti, Azhar ve Lubis (2020) hazırladıkları çalışmada, 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.

Erozan ve Müminoğlu (2020) hazırladıkları çalışmada, 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.

Hıdımoğlu (2019) ise, 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.

Arslankaya ve Duman (2019) hazırladıkları çalışmada, jeneratör üreten bir firmanın kabin kaynak hattını incelemişlerdir. Mevcut üretim sistemi yeniden kurulmuş ve çıktılar bir önceki sistemin çıktıları ile karşılaştırılmıştır. Kabin kaynak hücresindeki dengesizliğin giderilebilmesi için simülasyon modeli kurulurken ProModel 7.5 programından destek alınmıştır. Çalışma sonunda; üretimdeki tezgah sayılarında azaltma yoluna gidilirken robot alımı ile de iyileştirme sağlanmıştır. İyileştirme sonunda üretim hattında %21 daha fazla kaynaklı kabin üretilebildiği görülmüştür.

Kahya, vd. (2008) ise yaptıkları çalışmada; fırın üreten bir işletmenin montaj hattını ele almışlardır. Çalışmada; ergonomi kuralları ön planda tutularak, çalışmada işçilerin kas ve iskelet sistemi rahatsızlıklarını önleyecek şekilde riskleri en aza indirerek çalışanların eşit zorluk derecelerinde çalışmaları hedeflenmiştir. Comsoal (Computer Method of Sequencing Operations for Assembly Lines) algoritması kullanılarak yeni bir model oluşturulmuştur. Üretim süreleri alınarak Reba (Rapid Entire Body Assessment) yöntemi ile ergonomik risk düzeyleri hesaplanmıştır. Geliştirilen model ile Comsoal yöntemi montaj hattında uygulanmıştır ve belirlenen performans ölçütleriyle karşılaştırılmıştır. Bu iki model –in performans ölçütlerine göre karşılaştırması ile performanslarda %3,34 oranında iyileştirme sağlandığı görülmüştür.

Özgen (2016) ise; gömlek imalatı yapan bir işletme için hat dengeleme çalışması yapmıştır. Operasyon süreleri kısa ve çalışan işçi sayısı çok olan bir işletmede, hat dengeleme önemli bir problem haline gelmektedir. İki farklı model için üç farklı hat dengeleme işlemleri yapılarak sonuçları karşılaştırılmıştır. En uzun işlem süresi yöntemi, Kilbridge ve Wester yöntemi ile göreceli pozisyon ağırlıkları yöntemi kullanılmıştır. A ve B modeli için verimliliklerde artışlar gözlenmiştir. A modeli için göreceli pozisyon ağırlıkları yöntemi, B modeli için, en uzun işlem süresi yöntemi verimliliği en fazla artıran yöntemler olarak sağlanmıştır.

Adnan, Arbaai ve İsmail (2016) hazırladıkları makalede, otomotiv firmasında Yamazumi şemasının kullanılması ile hat dengeleme çalışması yapılarak iş gücü dengelenmiş ve montaj hatlarının yeniden düzenlenmesi, çevrim sürelerinin azaltılması, mudaların ortadan kaldırılması gibi iyileştirme adımları uygulanmıştır. İyileştirme sonuçları mevcut durumla karşılaştırılarak verimliliğin %77'ye çıktığı görülmüştür; operatörlerin iş yükleri de dengelenmiştir. Ayrıca alanların kullanım oranı artmıştır.

Akın (2015) yaptığı çalışmada, mobilya sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede, kanepa döşeme hattında yapılan hat dengeleme çalışmasına yer vermiştir. İşletmede yüzü aşkın modelde ürün üretilmektedir. Arena 4.0 ve Arena 9.0 programları kullanılarak yapılan benzetimler ile mevcut durum ve çalışmanın sonucu karşılaştırılmıştır. Çalışmada hat dengeleme çalışması yaparken, uygulamaya geçmeden önce programlar sayesinde optimum çözüme daha kısa sürede varılabileceği görülmüştür.

Bilget (2015) yapmış olduğu çalışmada, konfeksiyon işletmesinde kritik bir bölüm olan dikimhanede yapılan hat dengeleme çalışmasına yer vermiştir. Dikimhanede oluşan herhangi bir aksaklığın, işletmenin tüm sipariş zamanını etkileyeceği bilinmektedir. Hat dengeleme yaparken ise Simul8 simülasyon programını kullanılmıştır. Çalışmada incelenen modeller çeşitli algoritmalarla dengelenerek modele ait verimlilikler hesaplanmıştır. Simul8 yazılımında oluşturulan model sonuçlarıyla algoritmalar karşılaştırılarak, algoritmaların simülasyondan daha verimli olduğu görülmüştür.

Jayawickrama, Samarasena ve Kulatunga (2014) konfeksiyon üretim fabrikasında, üretimdeki zaman kayıplarını azaltmak için çalışmışlardır. Zaman kaybı olan istasyonları ve darboğazlar belirlemek için Yamazumi grafiğini kullanmışlardır.

Güner (2012), U tipi montaj hattı hat dengelemesi için hazırladığı çalışmalara yer vermiştir. Hattı dengelemek için; süre dengesizlikleriyle çalışanların performanslarını, harcadıkları enerjileri ve yaptıkları işler arasındaki uyumsuzlukları inceleyerek, bu girdilerle bir matematiksel programlamayla çalışılmıştır. Matematiksel model olarak Urban'ın geliştirdiği programlama modelinden yararlanılmıştır. Bu modelin küçük ve orta büyüklükteki problemler için kullanılabileceği ve U-tipi montaj hatlarında çalışan işçileri görevlendirmede katkı sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

Orbak, vd. (2009) ise yaptıkları çalışmada; otomotiv yan sanayisinde faaliyet gösteren bir firmanın, tek ve karışık modelli iki montaj hattının hat dengeleme problemini incelemişlerdir. Hat dengeleme işlemleri için literatürdeki algoritmalar kullanılmıştır. Tek modelli montaj hattında öncelik diyagramları oluşturularak Hoffman algoritmasına göre problem incelenmiştir. Karışık modelli montaj hattında ise Thomopoulos'a göre hazırlanmış olan sıralanmış pozisyon ağırlıkları yöntemi kullanılarak hat dengeleme çalışması yapılmıştır.

Orbak, vd. (2009a) ise yaptıkları çalışmada; karışık modelli hat için hat dengeleme çalışması anlatılmıştır. Çalışmada hat dengeleme problemine, iki aşamalı

çözüm sunulmuştur. İlk aşamada çevrim süreleri dikkate alınmıştır. Çevrim sürelerinin istasyonlarda dengeli olması istenmiştir. Hat dengesi sağlanırsa başka model üretimlerinde de dengenin sağlanabileceği savunulmuştur. İkinci aşamada istasyonlar dikkate alınmıştır. Amaç en az istasyonla en fazla işi yaptırmaktır.

Bayraktaroğlu'nun (2007) hazırladığı tez çalışmasında, U tipi montaj hattı için, hat dengeleme çalışmalarında kullanılan analitik yöntemlerden olan dal sınır algoritmasının uygulamasını incelemiştir. Çalışmada algoritmaların U tipi montaj hatlarının I tipi montaj hatlarına nazaran daha iyi sonuç verdiği görülmüştür, U tipi montaj hatlarının verimi daha yüksek çıkmaktadır.

Gökçen ve Ağpak (2004) hazırladıkları çalışmada, yeni bir hat dengeleme felsefesi ortaya koymuşlardır. Çalışan işçilerin boş zamanlarının başka hatlarda kullanılarak kullanım oranlarını artırıp, toplam operatör sayısında azaltma ile daha etkin çalışma ortamı sağlanabileceğine değinilmiştir. Hatların tek tek değil ortaklaşa dengelenmesi uygun görülerek, aktif ve pasif durum olarak iki yeni prosedür anlatılmıştır.

Gökçen, Ağpak ve Ergun (2002) hazırladıkları çalışmada, hizmet sektöründe hat dengelemenin uygulanabilirliği incelenmiştir. Fizik tedavi ve rehabilitasyon kliniğinde verilen hizmetler birer ürün olarak düşünülerek hat dengeleme üzerinde çalışılmıştır. Bu çalışma ile hat dengeleme çalışmalarının sadece imalat yapan işletmelerde değil; klinik, hastane, vergi dairesi, restoranlar gibi yerlerde uygulanabilir olduğu kanısına varılmıştır.

Özhan'ın (1999) hazırladığı çalışmada, örme konfeksiyon sektöründe GSD (General Sewing Data) yöntemiyle üretim öncesi sürelerin belirlenmesi ve bant dengelenmesinin yapılması anlatılmıştır. GSD bir tekniktir ve direkt olarak ölçüm ve gözlem yapmadan önceden belirlenmiş standartlar ile gereken sürelerin hesabı için kullanılır. Üretimdeki standart süreler tespit edilerek bant dengesi yapılmıştır. GSD yönteminde üretime başlamadan üretim süreleri elde edilebilmektedir. Bu özelliği büyük kolaylıklar sağlayabilmektedir.

Engin (1996) yapmış olduğu çalışmada, montaj hattı dengeleme konusunu ele alarak çözüm yöntemlerini incelemiştir. Montaj hattı dengeleme konusu otobüs üreten bir üreticinin montaj hattında incelenerek analizi yapılmıştır. Hattaki kayıpları en aza indirmek, minimum iş istasyonu sayısına ulaşmak, kısıtları en aza indirmek hedeflenmiştir. Hat dengelenerek stok, işçilik, maliyet durumları gözden geçirilmiştir.



**İKİNCİ BÖLÜM**  
**ISI DEĞİŞTİRİCİ**

## 2. ISI DEĞİŞTİRİCİ

Genel bir tanım olarak ısı, sıcaklık farkının neden olduğu geçiş halindeki bir enerji şeklidir. Bu yüzden işlem ısı geçişi olarak adlandırılır. Bir bölgeden diğer bölgeye ısı enerjisinin geçişi farklı şekillerde görülebilir. (Genceli ve Parmaksızoğlu, 2016). Isı değiştirici ise, farklı sıcaklıklardaki iki veya daha fazla akışkan arasındaki ısı değişimini sağlayan bir ayardır. Bu aygıtta en basit bir örnek, iki farklı sıcaklıktaki akışkanların bir kapta karıştırılmasıdır. Fakat bu işlem bir ısı değişiminden çok, karıştırma işlemi olarak adlandırılmaktadır. Genellikle ısı değiştiricilerde akışkanlar, birbirleri ile karıştırılmadan ısı geçişi yapılan bir yüzeyle birbirlerinden ayrılır. (Onat, vd. 1998).

İki akışın karışmadan ısı alışverişinde buldukları düzeneklere ısı değiştirici adı verilir. Isı değiştiricileri endüstride yaygın olarak kullanılırlar ve değişik tasarımda olabilirler. (Çengel ve Boles, 2008)

Bir ısı değiştiricisi için kütlenin korunumu ilkesi; (sürekli akış durumunda) ısı değiştiricisine giren ve ısı değiştiriciden çıkan akışkanların debilerinin toplamının eşit olması gerekir. Bu sonuç farklı bir şekilde ifade edildiğinde; sürekli akış koşullarında, ısı değiştiricisinden geçen her iki akışın kütle debileri ayrı ayrı sabittir denilebilir. (Çengel ve Boles, 2008)

Isı değiştiricisinde genellikle iş etkileşimi yoktur. Bu sebeple potansiyel enerji ve kinetik enerji değişimleri ihmal edilebilir. Isı değiştiricilerindeki ısı geçişi, kontrol hacminin seçimine bağlı olarak farklı şekillerde ifade edilebilir. Isı değiştiricilerinde iki akışkan maddenin ısı değiştirici içinde birbirleri ile ısı alışverişinde bulunmaları sağlanır, ısı değiştirici gövdesi genel olarak çevreye ısı geçişini engellemek için yalıtılmıştır. (Çengel ve Boles, 2008)

Isı değiştiricilerde genel olarak dış ısı ve iş etkileşimi yoktur. Tipik uygulamalarda, bir sıvı akışının ısıtılmasını veya soğutulmasını ve tek ya da çok bileşenli sıvı akışlarının buharlaştırılmasını veya yoğunlaşmasını içermektedir. Diğer uygulamalarda amaç, ısıyı geri kazanmak veya reddetmek ya da bir proses sıvısını sterilize etmek, pastörize etmek, parçalara ayırmak, konsantre etmek, kristalleştirmek veya kontrol etmek olabilir. (Shah ve Sekulić, 2003)

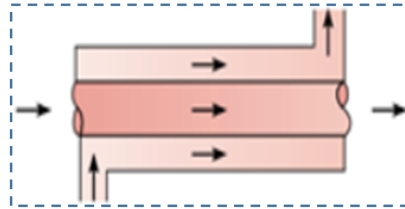
## 2.1. Isı Değiştirici eşitleri

Farklı sıcaklıkta ve birbirinden katı bir cidar ile ayrılan iki akışkan arasındaki ısı geçişi, birçok mühendislik uygulamasında önem taşır. Bu tür bir ısı geçişini gerçekleştirmek için kullanılan ısı değiştiriciler hacim ısıtmasında, iklimlendirme tesislerinde, termik santrallerde, atık ısının geri kazanılmasında ve kimyasal işlemlerde uygulama alanı bulurlar. (Incropera ve DeWitt, 2006)

Isı değiştiriciler yapı özelliklerine göre ayırt edilirler. Dört ana tipi; borulu, plakalı, rejeneratif ve gövde borulu tipler olarak verilebilir. Tank ısıtıcısı gibi başka yapılara sahip ısı değiştirici tipleri de mevcuttur. (Shah ve Sekulić, 2003)

Isı değiştiricileri genelde; akış düzenlemelerine ve konstrüksiyon tiplerine göre sınıflandırılırlar. En basit ısı değiştirici konstrüksiyonu, iç içe eş eksenli iki boru içinde, sıcak ve soğuk akışkanların birbirine göre aynı ya da ters doğrultuda hareket etmesi ile gerçekleştirilebilir. Şekil 2.1’de görülen paralel akışlı düzenlemede, sıcak ve soğuk akışkanlar ısı değiştiricinin aynı ucundan girerek aynı doğrultuda akarlar ve ısı değiştiricinin diğer ucundan ısı değiştiriciyi terk ederler. (Incropera ve DeWitt, 2006)

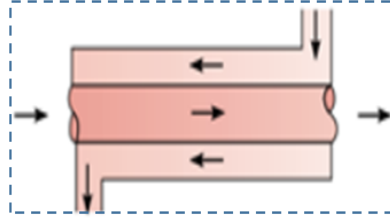
**Şekil 2.1:** İç içe iki eksenli borulu ısı değiştirici paralel akış



**Kaynak:** Incropera ve DeWitt, 2006

Şekil 2.2’de görülen ters akışlı düzenlemede ise, sıcak ve soğuk akışkanlar ısı değiştiricinin birbirine göre ters uçlarından girerler, ters doğrultuda akarlar ve birbirlerine göre ters uçlardan ısı değiştiriciyi terk ederler. (Incropera ve DeWitt, 2006)

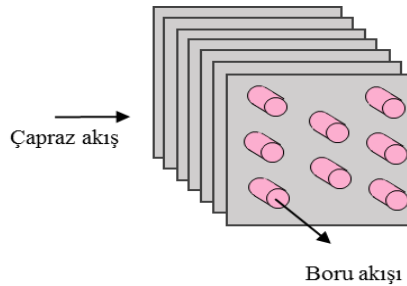
**Şekil 2.2:** İç içe iki eksenli borulu ısı değiştirici ters akış



**Kaynak:** Incropera ve DeWitt, 2006

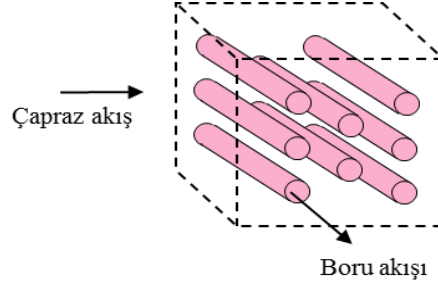
Diğer bir ısı değiştirici konstrüksiyonu Şekil 2.3’de verilmiştir. Kanatlı ve kanatsız borulu ısı değiştiricilerde, akışkanlar birbirlerine dik olarak akabilirler. Bu şekilde verilen iki düzenleme, akışkanın boruya dik olarak akması sırasında karışan ve karışmayan olarak iki şekilde olabilir. Şekil 2.3’de kullanılan kanatlar, akışın ana doğrultusu olan x yönüne dik olan y doğrultusunda akışkanın hareketine engel olduğundan, akışkan karışmamış olarak tanımlanmıştır. Bu durumda akışkan sıcaklığı x ve y doğrultularının her ikisine göre değişmektedir. Bu düzenlemenin tersi olan Şekil 2.4’de kanatsız boru demetinde, ana akış doğrultusuna dik yönde gerçekleşen karışma sonucunda, akışkandaki ana sıcaklık değişimi sadece akış doğrultusunda olmaktadır. Boru içindeki akışkan karışmadığından kanatlı ısı değiştiricisi her iki akışkanın karışmadığı, kanatsız ısı değiştiricisi ise bir akışkanın karıştığı, diğer akışkanın karışmadığı durum olarak tanımlanmaktadır ve bu karışımlar ısı değiştiricinin performansını önemli ölçüde etkilemektedir. (Incropera ve DeWitt, 2006)

**Şekil 2.3:** Akışkanların karışmadığı çapraz akışlı ısı değiştirici



**Kaynak:** Incropera ve DeWitt, 2006

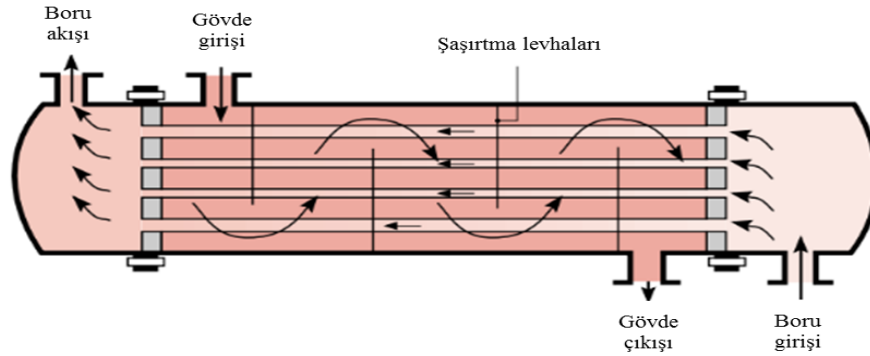
**Şekil 2.4:** Bir akışkanın karıştığı, diğer akışkanın karışmadığı ısı değiştirici



**Kaynak:** Incropera ve DeWitt, 2006

Uygulamalarda en çok kullanılan diğer tip ısı değiştiricisi, gövde borulu ısı değiştiricisidir. Kalfifer tesisatlarında en çok gövde borulu ısı değiştiricileri kullanılır. (TMMOB, 2017). Bu ısı değiştiricilerin özel biçimleri, gövde ve boru geçişlerinin sayısına göre değişir. Şekil 2.5’de verildiği gibi, özel biçimleri gövde ve boru geçişlerinin sayısına göre değişir. Tek geçişli boru ve gövde düzenlemesi bu türün en basit konstrüksiyonudur. Çapraz akış ve türbülans ile gövde tarafındaki akışkanda ısı taşınım katsayısını arttırmak için, gövde tarafına çoğu zaman şaşırtma levhaları konulur. (Incropera ve DeWitt, 2006)

**Şekil 2.5:** Gövde borulu ısı değiştirici, bir gövde ve boru geçişli



**Kaynak:** Incropera ve DeWitt, 2006

Birim hacimde ısının geçiş yüzey alanının en büyük değerde olması durumu ısı değiştiricilerin önemli olan diğer bir sınıfını belirler. Kompakt ısı değiştiricileri olarak adlandırılan bu ısı değiştiriciler, çok kanatlı boru ya da levhalardan oluşur. Genel olarak ısı taşınım katsayısının en küçük ve en az bir akışkanın gaz olduğu durumlarda kullanılır. Kullanılan borular yassı veya dairesel kesitli olabilir. Kullanılan kanatlar ise levha ve dairesel olabilir. Paralel levhalı ısı değiştiricileri düz veya dalgalı olabilir ve tek geçişli,

çok geçişli olarak kullanılabilir. Kompakt ısı değıştiricilerinde akış kesitleri çok küçüktür ve içlerindeki akış genellikle laminerdir. (Incropera ve DeWitt, 2006)

Isı değıştiricilerde iş etkileşimi yoktur ve her akışkan için potansiyel enerji ve kinetik enerji değışimleri ihmal edilir. Isı transfer oranı, seçilen kontrol hacmin nasıl seçildiği ile ilişkilidir. (Çengel and Boles, 2011)

Bir ısı değıştiricisinde çevreye ısı geçişi olmadığı kabul edilirse aşağıdaki formüllerle ısı hesabı yapılabilir: (Genceli ve Parmaksızoğlu, 2016)

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (2.1)$$

Q: Isı değıştiricide geçen ısı (W)

U: Isı değıştiricinin toplam ısı geçiş katsayısı (W/m<sup>2</sup>.K)

A: İki akışkanı ayıran ısı geçiş yüzeyi (m<sup>2</sup>)

$\Delta T$ : Sıcaklık farkı (°C)

Soğuk ve sıcak akışkanların ısınması ve soğuması arasında alıp verilen ısılar akışkanların kütleli debileri ile giriş ve çıkış entalpilerinin farkıyla hesaplanabilir: (Genceli ve Parmaksızoğlu, 2016)

$$Q = \dot{m}(h_g - h_ç) \quad (2.2)$$

$\dot{m}$ : Akışkanın kütleli debisi (kg/s)

$h_g$  ve  $h_ç$ : Akışkanın giriş çıkış entalpileri (J/kg)

Isının verilmesi ve alınması durumunda akışkanların sıcaklığı değışiyorsa geçen ısı hesabı şu şekilde yapılabilir: (Genceli ve Parmaksızoğlu, 2016)

$$Q = \dot{m}c_p(T_g - T_ç) = C(T_g - T_ç) \quad (2.3)$$

$c_p$ : Sabit basınçtaki özgül ısı (J/kg.K)

$T_g$ : Giriş sıcaklığı (°C)

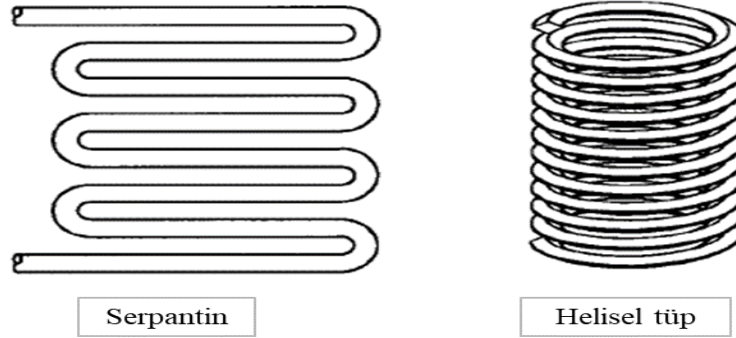
$T_ç$ : Çıkış sıcaklığı (°C)

C: Akışkanın ısı kapasitesi ( $\dot{m} \cdot c_p$ ) (W/K)

Borulu ısı değıştiricilerde çeşitli şekillerde borular kullanılmaktadır. Endüstride en yaygın kullanılanlar ise, düz ve U boru demetleridir. Bunun yanı sıra, L şekli, J şekli,

hokey sopaları, serpantin ve sarmal şeklinde kullanılan geometrileri de vardır. Şekil 2.6'da bazı modeller gösterilmiştir. (Shah ve Sekulić, 2003)

**Şekil 2.6:** Borulu eşanjörlerde kullanılan bazı geometriler



**Kaynak:** Shah ve Sekulić, 2003

## 2.2. Kaynak Yöntemleri

Metallerin birleştirilmesi genel olarak en yaygın yöntemlerden olan kaynak işlemi ile yapılır. Kaynak işlemi diğer birleştirme yöntemlerine göre sızdırmazlık sağlarken, kolay ve ucuz konstrüksiyonlar elde edilmesini sağlar. Kaynaklı malzemelerin mukavemeti de çok yüksektir. (Aydın, vd. 2012)

Kaynak çeşitleri sınıflandırırken birçok yöntem sıralanabilir. Metallere kaynak yapmak için uygulanan ısının meydana getirdiği ergimeye göre sıralama yapmak gerekirse, ergitmeli ve ergitmesiz kaynak yöntemleri olarak sıralanabilir. (Aydın, vd. 2012)

Ergitmeli kaynak yöntemleri;

- Elektrik ark kaynağı
- Gazaltı kaynağı
- Oksigaz kaynağı
- Tozaltı kaynağı
- Direnç kaynağı
- Lazer kaynağı
- Plazma kaynağı
- Termit kaynağı

- Elektron ışın kaynağı

Ergitmesiz kaynak yöntemleri ise;

- Difüzyon kaynağı
- Sürtünme kaynağı
- Ultrasonik kaynak
- Patlatma kaynağı
- Sürtünme karıştırma kaynağı (Aydın, vd. 2012)

Bu tez çalışmasında, proste uygulanan kaynak türü difüzyon kaynağı olduğu için, bu bölümde difüzyon kaynağı hakkında bilgi verilmiştir.

### **2.2.1. Difüzyon Kaynağı**

Difüzyon kaynağı milattan önce 3200'lü yıllarda altın kupa, çanak vb. gibi eski çağda kullanılan eserleri imal etmede kullanılmış yöntemdir. Eski çağlarda kullanılması basit bir yöntem olduğunu gösterir. Günümüzde ise sıklıkla kullanılan bir birleştirme tekniğidir. Bu kaynak tekniğinin sıklıkla kullanımı titanyum ve alaşımları, süper plastik malzemeler ve özellikle alüminyum alaşımlarının kaynağı ile ortaya çıkmıştır. (Aydın, vd. 2012)

Isı etkisi ile katı, sıvı, gaz fazlarda yer değiştirme olarak tanımlanan difüzyon olayı ısı hareketlerinden doğan kinetik enerjilerin dengelenmesi ve bölgesel yoğunluk farklılıklarının azalmasından kaynaklanmaktadır. Difüzyon kaynağında; değişik miktarlarda atom, atom grupları, molekül ya da elektronlar gibi elemanların göç ettirilmesi olabilir. (Aydın, vd. 2012)

Difüzyon kaynağında en önemli parametre sıcaklıktır. Kaynak sıcaklığı malzemenin ergime sıcaklığının altındaki bir sıcaklıktır. Diğer parametreler ise; bu sıcaklıkta tutma süresi, kaynak yüzeylerinin temiz olması, kaynak yüzeylerinin kalitesi, kaynak yapılan ortam, kaynakta uygulanacak düşük yük şeklinde sıralanabilir. (Aydın, vd. 2012)

Difüzyon kaynağı bir basınç kaynak yöntemidir, kaynak ara yüzeyinde atomların karşılıklı yüzeyler içerisine transfer olmasıyla metallerin katı halde birleştirilmesi sağlanır. Katı halde birleştirmeyi sağlamak için birleştirilecek malzemelerin birleşecekleri temas yüzeyleri temiz olmalıdır. (Aydın, vd. 2012)

Difüzyon kaynağı ile metal ve metal alaşımları birkaç farklı uygulama ile birleştirilebilirler: (Aydın, vd. 2012)

- Aynı özelliğe sahip malzemeler katı hal kaynak yöntemi ile kaynaklanabilirler. Bu durumda kaynak için; zaman, sıcaklık, basınç ve temiz yüzeylere ihtiyaç vardır.

- Aynı özelliğe sahip malzemeler, bir ilave ara yüzey tabaka kullanılarak birleştirilebilirler. Ara tabaka hızlı difüzyonu destekler ya da mikro deformasyon ile yüzeylerin arasında tamamen temasın sağlanmasını sağlarlar.

- İki farklı metal difüzyon kontrollü bir birleşme ile mükemmel bir birleşme oluşturabilir.

- Farklı iki metal, üçüncü bir farklı ara yüzey levha kullanılarak kaynaklanabilir. Ara yüzey levha, difüzyonu hızlandırmak için kullanılır.

- Oksijene ilgisi fazla olan ve çok düşük ergime gösteren metal ve metal alaşımlarının kaynağı genel olarak zordur. Bu metal ve alaşımları; alüminyum ve alaşımları, nikel ve alaşımları, kobalt bazlı alaşımlar ve krom içeren alaşımlardır. Bu malzemeler oksijen ile düşük ergime ile güçlü oksit oluşturabilen malzemelerdir. Kaynak yapıldıklarında, oksitlenmeye engel olmak için ilave tabaka, vakum, ilave tozlar ya da asal gaz ortamı kullanılır.

Difüzyon kaynağına etki eden faktörleri sıralamak gerekirse; kaynak sıcaklığı, kaynak süresi, kaynak basıncı ve diğer faktörler olarak verilebilir. Kaynak sırasında uygulanacak olan sıcaklık, zaman, basınç, kaynak atmosferi, yüzey pürüzlülüğü vb. gibi etmenler birbiri ile ilişki olup kaynak yapılacak malzemelerin özelliklerine bağlıdır. Başka bir açıdan da malzemelerin tane boyutu, kristal yapısı, atom çapları, yeniden kristalleşme sıcaklıkları gibi her iki malzemenin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin aynı veya farklı olması gibi metalürjik faktörler de etkilidir. (Aydın, vd. 2012)

### **2.2.2. Kaynak Sıcaklığı**

Difüzyon kaynağında sıcaklık en önemli parametredir. Kaynakla birleştirilecek olan malzemelerin bir tanesinin ergime sıcaklığının yarısından büyük ya da eşit bir sıcaklık uygulanır. Bununla birlikte kaynak sıcaklığı, oksitlenmeye ve faz değişikliğine sebep olmayan bir sıcaklık seçilir. Oksit kararlılığının bir fonksiyonu olarak farklı malzemelerin kaynağında gerekli basınç-sıcaklık değerleri önemlidir. Difüzyon sıcaklığı

malzemenin ergime sıcaklığının 0,5 ile 0,66 oranı aralığında bir sıcaklık seçilir. (Aydın, vd. 2012)

Difüzyon kaynağında sıcaklık kadar ısıtma soğutma hızları da önemlidir. Endüstriyel çalışmalar için 50 °C/dakika ısıtma hızı olumlu sonuçlanırken, farklı metallerin kaynağında maksimum 5-15 °C/dakika ısıtma hızı önerilir. (Aydın, vd. 2012)

Difüzyon kaynağında kaynak işlemindeki sıcaklığın etkisini daha iyi anlamak için kinetik teori verilebilir. Difüzyon, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak tanımlanır ve aşağıdaki eşitlikteki gibi ifade edilir:

$$D = D_0 \cdot e^{(-O/RT)} \quad (2.4)$$

D: Difüzyon katsayısı

$D_0$ : Malzemeye bağlı sabit (atomik titreşim frekans faktörü)

O: Aktivasyon enerjisi ( $\text{Jmol}^{-1}$ )

T: Sıcaklık

R: Gaz sabiti ( $8,314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ) (Aydın, vd. 2012)

Difüzyon kontrollü işlemlerde sıcaklıktaki küçük değişiklikler, işlemin kinetiğinde önemli değişmeye neden olur. Difüzyon kaynağında yüksek sıcaklıklarda çalışmanın önemli etkileri vardır. Bunlar; birleşme ara yüzeyinde atomların hareketini hızlandırmak ve yüzey deformasyonu için metalin yumuşamasını sağlamaktır. (Aydın, vd. 2012)

### 2.2.3. Diğer Faktörler

Difüzyon kaynağında en önemli parametrelerden biri de kaynak süresidir. Kaynak süresi; sıcaklık ve basınç ile orantılı olup, sıcaklık ve basınç artırılarak süre kısaltılabilir. Birçok durumda süre en az olacak şekilde seçilir. Bu ekonomik şartlar açısından önemlidir. Kaynak için yeterli süre, yüzeylerde temasın sağlanarak atomların hareketine yetecek kadar ve bu aşamada birleşmenin sağlanabildiği süre kadardır. (Aydın, vd. 2012)

Difüzyon süresi sıcaklıkla yakından ilişkilidir. Aşağıdaki formülle açıklamak gerekirse:

$$X = [C. (D. t)^{1/2}] \quad (2.5)$$

X: Difüzyon işleminde ortalama nüfuz eden atom mesafesi

D: Difüzyon katsayısı,

t: Zaman

C: Sabit

Yukarıdaki formülden den anlaşılacağı gibi difüzyon reaksiyonları zamanın karekökü ile ilerler. (Aydın, vd. 2012)

Kaynağa etki eden diğer bir etken ise kaynak basıncıdır. Difüzyon kaynağında basınç uygulanmasının asıl sebebi, yeterli birleşme olması için iki yüzeyin tam temasını sağlamaktır. Yeterli basınç ile boşluk alanları doldurmak için plastik akışın, deformasyonun oluşması engelleyecek miktarda olması gerekir. Basınç düşük olursa ara yüzeyde küçük boşluklar kalır, böylece kaynaklı birleşmenin mekanik ve mikro yapı özelliklerini olumsuz etkiler. Basıncın diğer işlevi de birleşme ara yüzeyinde temiz bir ara yüzey elde etmek için yüzey oksitlerinin kırılmasını sağlamaktır. (Aydın, vd. 2012)

Kaynak basıncının kaynak yüzeyine etkileri aşağıdaki şekilde sıralanabilmektedir;

- Yüzey pürüzlerinin plastik deformasyonuna yardımcı olmak,
- Yüzey oksitlerinin kırılarak metalin metale tam temasını sağlamak,
- Difüzyon için kimyasal potansiyel farkı oluşturmak,
- Atomlar arası mesafeyi azaltarak, atomlar arası çekim kuvvetleri arttırmak.

Difüzyon kaynağı sırasında kaynağı etkileyen diğer etkenler, yüzey şartları ve kaynak atmosferidir. Kaynak sırasında en büyük problem kaynak yüzeyinin oksitlenmesidir. Oksitlenmeyi engellemek için koruyucu atmosfer altında çalışılabilir. Bunu sağlamak için helyum, argon, azot gazları kullanımı tercih edilebilir. (Aydın, vd. 2012)



**ÜÇÜNCÜ BÖLÜM**  
**HAT DENGELEME**

### 3. HAT DENGELEME KAVRAMI

Hat dengeleme çalışmalarına ilk analitik yaklaşım 1954 yılında Bryton tarafından yapılmış ve bu konu hakkında birçok çalışma yapılmıştır. Aynı dönemlerde Salverson, analitik bir yaklaşım geliştirmiştir. Daha sonraki zamanlarda Jackson, Hoffmann, Kilbridge ve birçok araştırmacı tarafından farklı yöntemler geliştirilmiştir ve bu çalışmalar yayınlanmıştır. Yapılan bu çalışmalar, genel olarak tek modellenmiş montaj hatlarının dengelenmesi konusunda yoğunlaşmışlardır. (Acar ve Eştaş, 1991)

Hat dengeleme kavramının temeli yalın üretim sistemlerinden gelmektedir. Yalın üretim bir şirketin her bir faaliyetinde bulunan israf ve gecikmeleri yok ederek faaliyetin katmış olduğu değeri maksimize eden üretim sistemleridir. İşletmelerin imalat süreçleri olup olmamasına bakmaksızın süreçleri iyileştirmek çok önemlidir. (Krajewski, vd. 2014)

Yalın sistemlerin hedefi muda olarak adlandırılan 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. Sürekli iyileştirme yaklaşımı için Japonca kaizen terimi kullanılır. (Krajewski, vd. 2014)

Yalın sistemlerde en popüler olan öğelerden biri de kanban sistemidir. Kanban Japonca kart ya da görünür kayıt anlamında olup üretimin akışını kontrol etmede kullanılır. Üretimde kullanılan kapların her birine kart eklenir. Bu kaplar günlük üretimin belli oranda yüzdesini karşılar. Kaptaki ürünler tamamen tükendiğinde, kaptaki ürünleri kullanan operatör kartı kaptan alarak sipariş kutusuna asar. Boş kap depolama alanına gider ve asılan kart, yeni parçalara ihtiyaç olduğunu haber verir. Kap doldurulduğunda kart tekrar dolu kaba gider ve üretime verilir. Çevrim bu şekilde devam eder. Kanban sistemleri çoklu üretim yapan hatlarda kullanılır. (Krajewski, vd. 2014)

Üretim sürecinde, üretilecek olan ürünün birden fazla iş ögesine ayrılmasıyla ve bu iş ögelerine ait işlemlerin ayrı operatörler tarafından yapılmasıyla daha hızlı ve ucuz üretim yapılabileceği anlaşılmıştır.

Üretimi yapılacak ürünün hattı tasarlandığında, ürünün yapılacak işlemleri arasında süre farklarının dengelenmesi problemi ortaya çıkar. Yapılması gereken işlerin iş istasyonlarına, kayıp süreleri en aza indirecek şekilde eşit şekilde atanması olayına “hat

dengelemesi” denir. Hat dengelemedeki en önemli unsur, hat üzerinde aynı işlem zamanına sahip iş istasyonu sayısını ya da çevrim süresini en kısa hale getirmektir. (Tanyaş ve Baskak, 2013)

Ürünler üretilirken tek parçadan oluşmazlar, genelde birkaç parçadan üretilirler. Bu parçaların da birçok alt parçanın birleştirilmesinden oluştuğu durumlar vardır. Endüstrileşme sürecinde, toplam işin ögelerine ayrılarak bu parçaların ayrı ayrı işçiler tarafından yapılması ile daha hızlı, kitlesel ve daha ucuz üretim yapabileceği görüşü ortaya çıkmıştır. Bunun sonucu olarak üretim, üzerinde değişik iş istasyonlarının bulunduğu belirli bir hat üzerinden malzemelerin geçirilmesi yoluyla yapılır. Malzemelerin akış hattı boyunca veya donanımdan yararlanılarak transfer edildiği ve parça üzerindeki işlemlerin; aralarındaki kısıtlar göz önüne alınarak birleştirilmesiyle oluşturulan istasyonların, yine bir hat boyunca sıralanmalarıyla oluşan sisteme, montaj hattı denir. Hat üzerindeki iş istasyonlarında bulunan işçiler, ürün durumuna getirilecek yarı ürün önlerinden geçerken, kendilerine ait iş ögeleriyle ilgili bir veya birkaç işlemi yaparlar. Bu işlem sonucunda, hatta giren parça ve yarı ürünler gereken tüm işler yapılmış şekilde, hattın sonundan ürün olarak çıkarlar. (Tanyaş ve Baskak, 2013)

Bir ya da birden fazla ürün için montaj hattı tasarlandığında, üretim hattındaki iş istasyonlarına ilişkin işlem sürelerinin dengelenmesi sorunu ortaya çıkar. Kurulan montaj hattının daha verimli çalışabilmesi için üretim süresi içinde her bir montajcıya, çok az boş süre bırakılacak veya hiç boş süre bırakılmayacak şekilde işlemler istasyonlara dağıtılacaktır. Böylece iş istasyonları arasındaki işlem süresi farkları toplamının en aza indirilmesi sağlanacaktır. Buradaki sorun, sürekli üretim yapan sistemlerin yerleşim düzeninin kurulmasında hat dengeleme probleminin ortaya çıkmasıdır. (Tanyaş ve Baskak, 2013)

Ürün oluşumu sırasında yapılması gereken işlemlerin, montaj istasyonlarına kayıp süreleri en aza indirecek şekilde atanması olayına, bir başka deyişle iş ögelerinin iş duraklarına özgülenmesine, montaj hattı dengeleme ya da kısaca hat dengeleme denir. Montaj hattı dengeleme konusu, üretim hızının artırılması, sağlıklı bir planlama yapılması ve işletmenin ekonomik sorunlara çözüm getirmesi için büyük önem taşır. (Tanyaş ve Baskak, 2013)

### 3.1. Montaj Hattı Dengelemenin Amacı

Montaj hattı dengelemenin birden çok amacı vardır ve amaçlar birbirleriyle çelişirler. Bütün amaçlara da birden ulaşılabilir. Burada önemli olan en uygun çözüme ulaşılmasıdır. (Tanyaş ve Baskak, 2013)

Montaj hatlarının dengelenmesinde bazı etmenler vardır. Temel etmenler ve kısıtlar olarak ayırmak gerekirse; temel etmenler mühendislik spesifikasyonları, işlemler arası öncelikler, kaynak gereklilikleri, işin yapılmasındaki yöntemler, kullanılan makine ve tezgahlar olarak sıralanabilir. Kısıtlar ise; birincil ve ikincil kısıtlar olarak ayrılır. Birincil kısıtlar; çevrim süresi ve öncelik ilişkileri olarak sıralanabilir. Bir ürünün üretimde herhangi bir istasyonda geçirdiği en büyük süre olarak tanımlanır. İkincil kısıtlar ise; konum kısıtı, sabit donanım kısıtı, istasyon yükü, aynı istasyona atanması istenen iş yükü ve aynı istasyona atanmaması istenen iş yükü olarak sıralanabilir. (Tanyaş ve Baskak, 2013)

Montaj hattı dengelemede ulaşılmak istene amaçlar şu şekilde verilebilir:

- Düzenli bir malzeme akışı sağlamak,
- İşlemlerin kısa sürede tamamlanmasını sağlamak,
- Çalışma sürelerini iş istasyonları arasında dengeli bir şekilde dağıtmak,
- Üretim maliyetlerini düşürmek,
- İş istasyonu sayısını en aza indirmek,
- Üretim kapasitelerini ve insan gücünü en üst düzeyde kullanmak

olarak verilebilir. (Tanyaş ve Baskak, 2013)

Montaj hattı dengeleme yöntemlerinde; prosesleri tek bir istasyonda uygun bir biçimde birleştirilmeye çalışılabilir. Bu sayede istasyon sayısı en aza indirilebilmektedir. En iyi kombinasyon ise, en az süre ve en fazla verimlilik ile sonuçlanacak şekilde yapılandırılır. (Kumar, vd. 2021)

Hat dengelemede, yapılan çalışmalar sonrası yeni duruma geçiş, değişim olarak adlandırılır. Hat dengelemenin bu değişimdeki amacı, maliyetleri en aza indirmektir. Üretim hattının hat dengeleme çalışmasının en düşük maliyetle yapılması, montaj hattının değişkenliği olarak adlandırılır. (Fisel, vd. 2019))

### 3.2. Hat Dengelemede Temel Kavramlar

Hat dengeleme çalışmalarında bazı tabirler kullanılır. Bunları daha iyi anlamak için açıklamak gerekmektedir:

Üretim hattı: Hammaddelerin işletmeye girdiği andan itibaren her bir kademede işlenip üzerine bir şeyler eklenerek bitmiş ürün haline gelene kadar ardışık işlemlerden oluşan yola denir. (Doğruer, 2014)

Operasyon: Üretim hatlarında gerçekleştirilen en küçük işlem olarak adlandırılır.

Operatör: Operasyonların gerçekleştirilmesini sağlayan üretimde yer alan çalışanlardır.

İş istasyonu: Üretim hattında bulunan operasyonların gerçekleştirildiği alanlar olarak tanımlanır. (Doğruer, 2014)

Montaj hattı: Malzemelerin akış hattı boyunca transfer edildiği ve parça üzerindeki işlemlerin birleştirilmesi ile oluşturulan istasyonların hat boyunca sıralanması ile oluşan sistemlere denir. (Tanyaş ve Baskak, 2013)

İş ölçümü: Vasıflı bir işçinin belirli bir işi belirlenen bir performans ile yapması için gerekli olan zamandır. Burada vasıflı bir işçinin parçayı veya bir malı üretmesi, montaj işleminin yapılması, vb. ne kadar süreceği iş ölümünün konusudur. Fakat vasıflı işçiyi belirlemek için yapılacak en doğru iş, belirli eğitimlerden geçmiş bir grup işçiyi almak ve performanslarını ölçmek gerekir. (Doğruer, 2014)

Zaman etüdü: Belirli bir için temel zamanın ve buradan standart zamanın belirlenmesi amacı ile iş ölçümünde en çok kullanılan ve en önemli iş ölçümü metodudur. Zaman etüdü, vasıflı bir işçinin; belirlenen şartlar altında ve tempoda belirli bir işi yapması için gerekli olan süreyi belirlemektir. Bunun için tecrübeli bir analist işi gözlemler ve yapılan işleri kaydeder. Bir cihaz kullanarak işlem süresini ölçer ve işin temposunu belirler. (Doğruer, 2014)

Zaman etüdünün uygulanmasında aşağıdaki sıra takip edilir:

- Ölçüm yapılacak yer seçilir,
- Ölçüm yapılacak iş istasyonu ve kişiler seçilir,
- İş, istasyon ve operatör ile ilgili veriler toplanır,
- Seçilen iş ölçüm yapılmak üzere temel elemanlara ayrılır,

- Gözlem yapılarak ölçümler kaydedilir ve gerektiği kadar gözlem alınarak hesaplanır,

- Çalışma hızı belirlenir,
- Toleranslar belirlenir,
- Standart süre hesaplanır. (Doğruer, 2014)

Çevrim süresi: Bir proses tarafından ürün veya parça tamamlama sıklığı olarak tanımlanır. Bir operatörün bir çevrim içinde üstlendiği iş elemanlarını yerine geçen süre olarak da açıklanabilir. (Rother ve Shook, 1999)

Çevrim süresi hesaplamalarında bir tane ürünün çevrim süresi esasa alınır, birim olarak s/adet baz alınır.

Çevrim süresi şu şekilde hesaplanabilir:

$$CT = \frac{T}{N} \frac{(s)}{(adet)} \quad (3.1)$$

CT: Çevrim süresi

N: Toplam üretilen ürün adeti

T: Toplam üretim süresi

İş akışı: Ürünün üretimi sırasında başında geçmiş olan faaliyetleri gerçek sırası ile gösteren şemadır. Şemada işlem ve kontrol faaliyetleri gösterilir. (Kahya, 2015)

Takt süresi (Üretim Temposu): Müşterinin bitmiş ürünü istediği tempodur. Kullanılabilir vardiya zamanı, müşterinin bir vardiya için istediği ürün miktarına bölünerek bulunur. (Rother ve Harris, 2001)

$$\text{Takt süresi: } \frac{\text{Vardiyada kullanılabilen iş zamanı}}{\text{Vardiya başına müşteri talep miktarı}} \quad (3.2)$$

Hat verimliliği: Hat verimliliği bazı kaynaklarda çıktılarının girdilere oranı olarak hesaplanıyor (Doğruer, 2014). Buradaki problemde toplam gerçek üretim miktarının teorik olarak hesaplanan üretim miktarına oranı olarak ifade edilebilir.

$$\eta = \frac{\text{Gerçek üretim miktarı}}{\text{Teorik üretim miktarı}} \quad (3.3)$$

Ergonomi: Zaman etüt çalışmaları verimlilikleri arttırmanın yanında iş güvenliği ve işin kolay yapılması da hedefler. İnsan psikolojisi, stres ve vücut hareketlerindeki

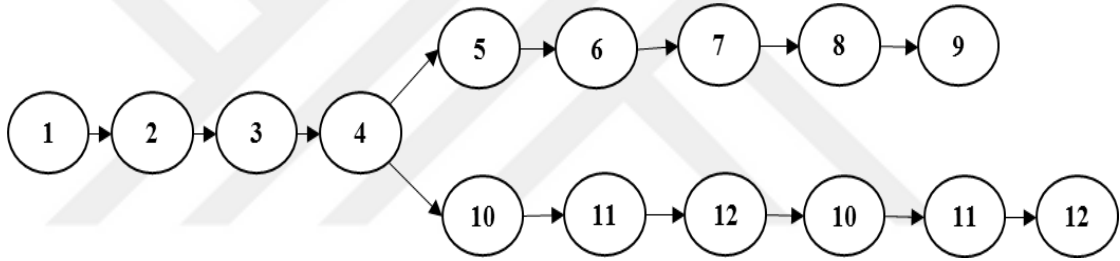
güvenliğin artması ve proses geliştirmeye yeni boyutlar getirerek işin kolaylaştırılması ergonomi olarak tanımlanır. Ergonomi bilimi insanların ve çalışma ortamlarının ilişkilerini inceler. Ergonomi için yapılan çalışmaların çoğu, optimum çalışma metotlarının belirlenmesinde sanayide direkt olarak etkilidir. (Doğruer, 2014)

### 3.3. Öncelik İlişkileri Diyagramı

Prosesler arasında organizasyonel sebeplerden kaynaklı öncelik ilişkileri vardır. Bu ilişkiler öncelik ilişkileri diyagramında ifade edilir. (Küçükkoç, 2020)

Bu çalışmada hat dengeleme için çalışılan üretim hattı için oluşturulmuş öncelik diyagramı aşağıdaki Şekil 3.1’de verilmiştir.

Şekil 3.1: Öncelik ilişkileri diyagramı



Örnek olarak; beşinci ve onuncu proseslerin başlayabilmesi için dördüncü prosesin tamamlanmış olması gerekmektedir. Dördüncü prosesin başlayabilmesi için birinci, ikinci ve üçüncü proseslerin tamamlanması gerekmektedir. Dört numaralı prosesin öncüsü bir numara, dört numaralı proses ise birinci prosesin ardıdır. (Küçükkoç, 2020)

### 3.4. Montaj Hattı Dengeleme Yöntemlerinin Sınıflandırılması

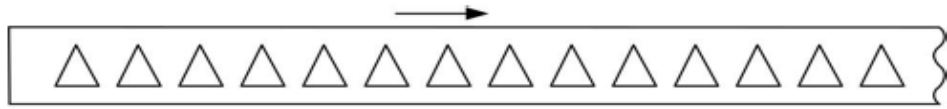
#### 3.4.1. Probleme Göre Sınıflandırma

İşletmelerde farklı üretim çeşitleri ve ihtiyaçları sebebi ile üretim hatlarında verimlilik çalışmaları farklı şekilde yapılabilmektedir. Üretim hatlarını sınıflandırmak için bazı temel özellikler bulunmaktadır:

- Ürün sayısı,



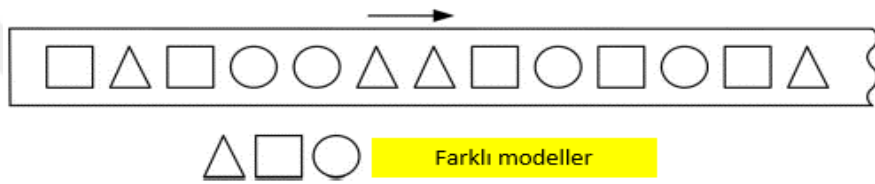
**Şekil 3.3:** Tek modelli üretim hattı



**Kaynak:** Scholl ve Becker, 2006

Karışık modelli üretim hatları: Bir ürünün farklı modellerinin üretimi aynı hattın üzerinde yapılır. Üretilen modellerin iş akışları birbirine çok benzer, ürünlerin bazı kısımları eklenen parçalarla birlikte değişiklik gösterirler ve bu farklılıklardan dolayı birbirinden ayrılır. Ürünler ardı ardına üretilebilir, üretim hattında herhangi bir değişiklik yapmaya gerek yoktur. (Scholl ve Becker, 2006)

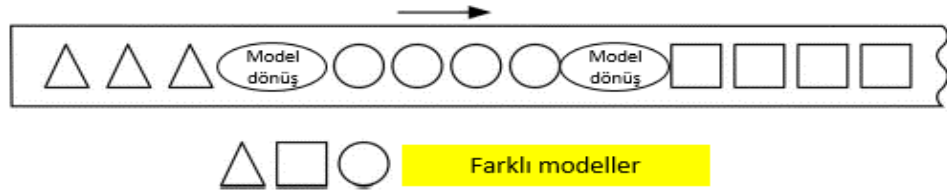
**Şekil 3.4:** Karışık modelli üretim hattı



**Kaynak:** Scholl ve Becker, 2006

Çok modelli üretim hatları: Birbirine benzeyen ürünler aynı üretim hattında üretilir. Ürünlerin iş akışlarında farklılıklar vardır, üretilen model değiştiğinde yeni üretilecek model için üretim hattı yeniden hazırlanmalıdır; birkaç araç gereç, makine veya makine ayarı değiştirilebilir. Model değiştikçe sürekli hattı değiştirmemek için hat ayarlandıktan sonra ürünler yığınlar halinde üretilir. Fazla ürün üretilmesi stok maliyetlerini artırır. Bu tarz üretim yapan bölümler için üretim miktarlarının ve üretim sürelerinin çok iyi ayarlanması gerekmektedir. Periyodik veya frekansiyel dönüşlerle modellerin üretim süreleri ayarlanarak üretim yapılması daha iyi olacaktır. Aksi halde fazla ürün yığınları ya da üretimde beklemeler oluşabilir, üretim planı iyi ayarlanmalıdır. (Scholl ve Becker, 2006)

**Şekil 3.5:** Çok modelli üretim hattı



**Kaynak:** Scholl ve Becker, 2006

Amaç sayısına göre tek ya da çok amaçlı olabilir. Çevrim süresini en kısa süreye getirerek istasyon sayısını küçültmek ve denge kaybını en aza indirmek istenir. (Tanyaş ve Baskak, 2013)

İşlem sürelerine göre süreler belirli ya da rassal olabilir. Uygulamalarda değişken çevrim süreleri görülmesine rağmen, hat dengeleme yönteminde süreler sabit kabul edilerek dengeleme yapılır. (Tanyaş ve Baskak, 2013)

Model ya da ürün sayısına göre ürün akış hatlarının tiplerine bağlı olarak montaj hatlarında bir ürün ve ürünün birden çok modeli ile buna benzer ürünler üretilebilir. (Tanyaş ve Baskak, 2013)

İstasyonda çalışan operatör sayısı bir ya da birden fazla olabilir. Montaj hattı ise sabit ya da hareketli olabilir. Yapılan işlemler otomatik, yarı otomatik, manuel ya da karma olabilir. Malzeme yok ise onun yerine ikame malzemeler kullanılabilir. (Tanyaş ve Baskak, 2013)

### 3.4.2. Çözüm Yaklaşımına Göre Sınıflandırma

**Analitik Yöntemler:** Optimizasyon yöntemleri olarak geçen analitik yöntemler en uygun sonuca ulaştırırlar. Bu yöntemlerde amaç fonksiyonu ile kısıtlar vardır. İşlem sayılarında artış olduğunda çözüm bulmak zorlaşmaktadır, bu nedenle diğer yöntemler tercih edilebilir. (Tanyaş ve Baskak, 2013)

**Bulgusal Yöntemler:** Bulgusal yöntemler montaj hatlarının dengelenmesinde birtakım prosedürlerin uygulanması ve belirli varsayımların yapılması yolu ile yaklaşık çözümler verir. Birden fazla bulgusal yöntem çeşitleri vardır ve bunlar genel olarak ürünlerin çevrim sürelerini sabit tutarak hattaki dengesizlikleri en aza indirmeyi hedefler. Bazı bulgusal yöntemler aşağıda verilmiştir: (Tanyaş ve Baskak, 2013)

- Konum ağırlıklı dengeleme tekniği
- Aşamalı sıralamayla çözüm
- Öncelik diyagramı ile çözüm
- Comsoal tekniği
- İki aşamalı dengeleme tekniği
- Probabilistik hat dengeleme
- Gruplama yöntemi
- Kilbridge Wester tekniği
- İlişkili etkinlik yöntemi

### **3.4.3. Benzetim (Simülasyon Tekniği) ve Arena Simülasyon Programı**

Bir sistemin işleyişini anlamak ve uygulamaya geçmeden önce farklı stratejileri değerlendirerek zaman ve enerjiden tasarruf etmek için sistemin çalışmalarını taklit eden bir bilgisayar programı kurulması ve deneyler yapması benzetim olarak tanımlanır. Bu tekniğin uygulama alanları geniştir. Bu tekniğin uygulanması gerçek hayatta incelenmesi mümkün olmayan ya da çok pahalı olan sistemleri incelememizi sağlar. Bu tekniğin iyi yanlarının yanında en iyi sonucu elde etmenin zor olduğu durumlar da vardır. (Tanyaş ve Baskak, 2013)

Benzetim tekniği ara stok seviyelerinin belirlenmesinde de kullanılır. Bir diğer faydası da, paralel hatların kullanılmasında da faydalanılır. (Tanyaş ve Baskak, 2013)

Arena simülasyon programı hat dengeleme çalışmalarında kullanılan bir benzetim programıdır. Üzerinde çalışma yapılacak çalışmalara senaryolar oluşturularak analiz edilirken bu programdan yararlanır. Arena gibi programların kullanılması zamandan ve gerçekte yaşanacak sıkıntıların önceden görülmesi açısından elverişlidir. (Özcan ve Yıldırak, 2020)

Arena programı Rockwell Automation tarafından geliştirilmiştir ve Siman simülasyon dilini kullanan bir programdır. Bir sistemin üretimdeki performansını ölçmek için kullanılır. Gerçek hayatta yapılacakları simülasyon yaparak zamandan tasarruf sağlayan bir programdır. Windows altında çalışan bir program olduğu için çalışması zor değildir. Verilerin giriş, çıkış analizlerini ayrıntılı bir şekilde vermektedir. (Yıldız, A., 2010)

Hat dengeleme çalışmalarında, hedeflere ulaşmak açısından literatürde birçok tekniğin kullanıldığı görülmektedir. Bu uygulamalardan en iyi şekilde yararlanmak için, gerçeğe yakın uygulamaları karşılaştırmalı olarak kullanmak önemlidir. Bu nedenle; Arena simülasyon programı, genel olarak hat verimini iyileştirmek için en uygun hat dengeleme tekniğinin seçiminde kullanılan bir araçtır. (Kumar, vd. 2021)

#### 3.4.4. İşlem Sürelerinin Deterministik Olup Olmamasına Göre Sınıflandırma

Montaj hatlarının dengelenmesinde iki farklı durum söz konusudur:

- İşlem sürelerinin belirgin olması
- İşlem sürelerinin değişken olması

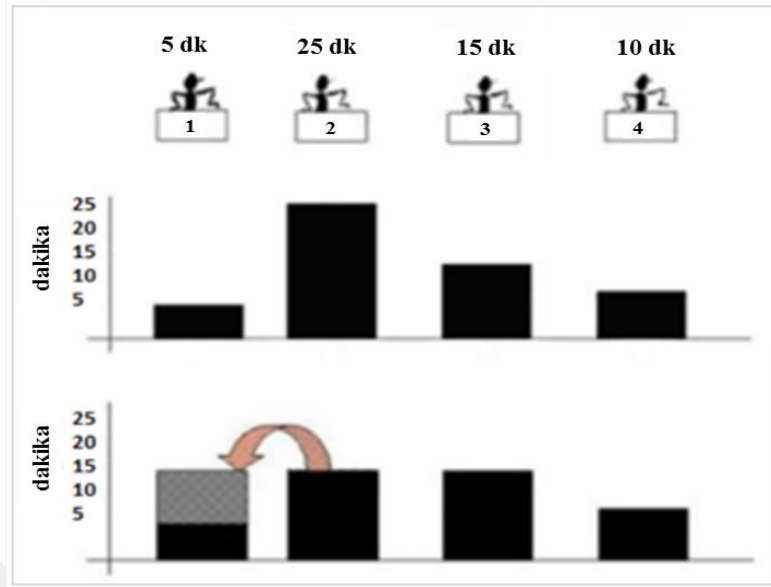
İşlem sürelerinin belirli olduğu ve bu sürelerde değişim olmadığı varsayılan problemler deterministik montaj hattı dengeleme problemleridir. Deterministik olmayan montaj hattı dengeleme problemlerinde de işlemlerin süreleri dağılımlarla ifade edilir. Dikkat dağılması, yorulma, araç gereç bozulmaları, yetersiz iş gücü vb. gibi sebepler ile sürelerde değişkenlikler meydana gelir. Bu değişkenlikler çevrim sürelerinin uzamasına ve işlerin zamanında bitirilememesine sebep olmaktadır. Bu tarz dengeleme problemlerinde araştırmacıların bazıları işlem sürelerinin normal dağılıma göre değer aldıklarını, bazıları ise işlem sürelerinin değişkenlik katsayılarının tüm iş ögeleri için sabit olduğu varsayılmıştır. İşlem süreleri herhangi bir dağılıma uygun değilse, bu kez stokastik yapıdan söz edilir. (Tanyaş ve Baskak, 2013)

#### 3.5. Yamazumi

Çevrim süresi proseslerin tamamlanması için geçen süre olarak tanımlanır. Operatörün işe başlamasından işi bitirene kadar geçen süre olarak geçer. Yamazumi ise hat dengeleme yöntemlerinde kaizenlerde kullanılan bir araçtır. Her operatör için toplam çevrim süreleri grafik halinde gösterilir. (Sabadka, vd. 2017)

Şekil 3.6'da örnek yamazumi grafiği verilmiştir. Grafik oluşturulurken proseslerin ayrıntılı olarak bilinmesi gerekir. Bunun için video çekme yöntemi kullanılarak prosesler incelenir ve çubuk grafiği oluşturulabilir. Oluşturulan grafikte işlem sürelerinin takt süresi aşıp aşmadığı görülebilir. Takt süresi aşıyorsa proses süreleri takt süresine düşürülmelidir. (Sabadka, vd. 2017)

**Şekil 3.6:** Yamazumi grafiği



**Kaynak:** Sabadka, vd. 2017

Hat dengeleme karmaşık bir iştir, çünkü çalışan bir şeyi iyileştirmek ve yeni düzeni daha iyi işler hale getirmek kolay bir işlem değildir. Süreci optimize etmek ve hat dengelemek için birkaç faktörü bilmek gerekir;

- Her bir operasyon
- Çevrim süreleri
- Takt süresi
- Hedef çevrim süreleri

Yamazumi grafiğinde tüm işlemler gösterilir. Üretimi düzenlemek, israfları ve gereksiz faaliyetleri ortadan kaldırmak, çevrim sürelerini azaltmak ve iş yüklerini dengeli bir şekilde dağıtmak için kullanılan bir yöntemdir. Bu işlemler yapılırken grafiklerin görselliğinden yararlanır, grafikler algılamayı kolay hale getirir. (Ariyanti, vd. 2020)

Rother ve Harris (2001) kitaplarında verdikleri örnekte, yakıt borusu hücresi prosesi incelenerek; proses süreleri, zaman kayıpları, setup süreleri ve diğer israflar çıkarılarak grafiğe eklenmiş ve çubuk grafiği haline getirilmiştir. İyileştirmeler sonrası tüm israf ve gereksiz işlemler çıkarıldıktan sonra mevcut durum yanına iyileştirilmiş durum eklenerek grafiğin küçüldüğü görülmüştür. Grafik incelendiğinde yeni sürenin takt süresinden daha kısa olduğu görülerek operatörlerin eskiye oranla daha az iş yükü olduğu ortaya çıkmıştır. Bundan sonraki adım, üretim hücresinde yeni duruma göre iş yüklerini dengeleyerek daha az operatörle daha verimli çalışan bir hat düzeni kurmaktır.

Yamazumi diyagramı, kaizen faaliyetlerinde etkili olarak kullanılabilir. Yapılan çalışmalarda, proseslerdeki ortalama işlem süreleri incelenip, proseste meydana gelen boşta kalma süreleri Yamazumi diyagramı kullanılarak çıkarılabilir. Yine aynı diyagram ile hattaki tüm istasyonların çalışma süreleri görsel olarak kullanılabilir. (Kumar, vd. 2021)

### 3.6. Isı Değiştirici Üretim Hattı

Hazırlanan bu çalışmada ısı değiştirici komponentleri üreten bir işletmede eşanjörlerin üretiminde yer alan problemlerin giderilmesi ve üretim verimliliği ile kapasitenin artırılması hedeflenerek hat dengeleme üzerine çalışılmıştır. Eşanjörlerin üretim aşamaları hammaddeden bitmiş ürüne kadar ayrıntılı olarak incelenmiştir ve kamera kaydı yapılarak süre çalışmaları yapılmıştır. Sürelerin tutulmasında ihtiyaç durumunda kronometre kullanılmıştır.

Eşanjör üretim hattı birden fazla operatörün çalıştığı büyük bir alana kurulmuştur ve birbirini takip eden sıralı işlemlerden oluşturulmuştur. Birkaç operatör çalışma düzeni ile kurulan hücreli üretim hattı mantığına benzemektedir. Bu uzun eşanjör üretim hattı sonrasında gelen hücreli hatlara çalışarak hücreli hatların ihtiyaçları olan eşanjör modellerini ve adetlerini üretmektedir.

Eşanjör üretimleri müşteri siparişleri doğrultusunda planlanmakta ve kısa termin süreleri ile çalışılmaktadır.

Eşanjör hattı kendinden sonra gelen hücreli hatlarda üretilecek modellerin çeşitlerine ve ihtiyaçlarına göre dizayn edilmiştir. Kullanılan makineler üretilen modellere özgü olarak revize edilmiştir. Modeller değiştiği zaman hızlı reaksiyon alabilecek setup uygulamaları mevcut hale getirilmiştir.

Ana üretim hattı ile hat-1 ve hat-2 olarak 3 tane üretim hattı üzerinde çalışma yapılmıştır. Ana üretim hattında kendisinden sonra gelen iki ayrı üretim hattı için üretim yapılmaktadır. Bu üretilen ürünlerin üretim aşamaları birbirlerine çok benzemektedir. Ölçüsel farklarla ve küçük değişikliklerle ürünler birbirlerinden ayrılmaktadır. Bu sebeple ana hat denilen ortak hat üzerinden üretim yapılmaktadır. Ana üretim hattı, hat bazlı hat dengeleme şeklinde incelenmiştir. Hat-1 ve hat-2 olarak ayrılan hatlarda modellere özgü

üretim yapılmaktadır. Üretilen ürünlerin özellikleri farklıdır, ürünler farklı aşamalardan geçerek son halini alırlar. Burada üretilen ürünlere de ürün bazlı inceleme yapılmıştır.

### 3.6.1. Hat Bazlı Çalışma

Üretimin başlaması firmalardan gelen ürün taleplerine ve adetlerine göre planlanmaktadır. Isı değiştirici üretimi için firmalar siparişlerini işletmeye mail yolu ile ulaştırmaktadırlar. Gelen siparişlerin termin süreleri kısadır, bu nedenle hatlar tam vardiya sürekli olarak çalışmaktadır. Siparişleri tam zamanında üreterek sevkiyat yapmak için kullanılan bazı terimler vardır. Her bir ürünün üretilip bitmiş ürün halini alması için geçen süre olarak bilinen takt süresi bunlardan biridir. Müşterilerden gelen eşanjör siparişleri doğrultusunda ana üretim hattının takt süresi şu şekilde hesaplanmıştır:

Üretilmesi gereken ürün miktarı: 3800 *adet/gün*

$$\text{Takt süresi: } (3600 \times 9) / 3800 = 8,5 \text{ s} \quad (3.2)$$

$$\left( \frac{s}{sa} \times \frac{sa}{vardiya} \right) / \frac{adet}{vardiya} = \frac{s}{adet}$$

olarak belirlenmiştir. Burada 3600 saniye olarak verilen değer 1 saatteki saniye sayısı ve 9 saat olarak verilen değer ise 1 vardiyadaki çalışma saatidir. 1 vardiya olarak verilen süreler 1 günlük çalışma süresi olarak alınmıştır, bu hatta tek vardiya çalışma düzeni vardır.

#### 3.6.1.1. Ana Üretim Hattı Çalışma Düzeni

Hat dengeleme çalışması yapılan üretim hattında bir tane ana hat ve bu üretim hattına bağlı iki adet yan üretim hattı bulunmaktadır. Ana hat yukarıdaki bölümlerde anlatılanlardan karışık modelli üretim hattıdır. Yan hat olarak verilen hatlara üretim hattı-1 ve üretim hattı-2 olarak adlandırma yapılmıştır. Bu iki hatta birbirinden farklı özelliklere sahip ısı değiştiriciler üretilmektedir.

Ana üretim hattının ayrılan hat-1 ve hat-2'ye çalışması hat dengeleme çalışması öncesi 2 sene önce 2018 yılında devreye alınmıştır. Hat-1 ve hat-2'nin kendi içerisinde akan iki ayrı hat olması ile üretim koordinasyonunun sağlanması ve ürünlerin birbirine karışmaması açısından önemlidir. Bu çalışma düzeninin bu şekilde olması yapılan fizibilite ve verimlilik çalışmaları sonrasında son halini almıştır. Bazı makinelerin

yatırım maliyetleri, iki ayrı hat için çalışacak operatör sayıları ve operatör verimlilikleri, ara stok miktarları, gelen siparişlerin yoğunluğu ve işletme kapasite durumları göz önüne alındığında iki ayrı hatta çalışan tek ana hat düzeni kurulması daha uygun olacağı düşünülmüştür.

Ana üretim hattı diğer iki üretim hattının müşterisidir, farklı özelliklerde ihtiyaç olan eşanjörler üretilmektedir. Bu hatta birbirini takip eden 7 sıralı ana işlem vardır, sıralı şekilde anlatmak gerekirse;

- İlk işlem olarak boru kesim makinesinde belli çap ve et kalınlıklarındaki alüminyum borular istenen ölçülerde kesilir. Dış çapı Ø5 mm'den Ø10 mm'ye kadar olan çeşitli çaplarda, boylarda ve et kalınlıklarında alüminyum borular kesilebilmektedir. Boru kesim işlemi makine tarafında yapılmaktadır. Minimum 1000 mm olmak üzere 3800mm'ye kadar istenen ölçülerde borular kesilebilmektedir.

- İkinci işlem olarak kesilen boruların uçlarına makinede form verilir. Boru ucuna verilen formlar müşteriler tarafından istenen belirli ölçülerde ve şekillerde yapılır. Boru ucuna verilen bu forma havşa adı verilir. Havşalama boru ucunun 10 mm boyunca genişletilme işlemidir. Boru ucuna havşalama işleminin yapılmasının amacı; eşanjörlerin bağlantısının yapılacağı ısı değiştirici sistemine kolayca birleştirilmesini sağlamaktır. Yapılan havşa işlemi tek veya çift yönlü olabilir ve parçaların teknik resimlerinde belirtildiği gibi üretilmektedir. Havşa işlemi dikkatli yapılması gereken bir prosestir, boruların uç kısmı bağlantı noktası olduğu için işlemin kalitesi önemlidir. İşlemin yanlış veya eksik yapılması durumunda müşteriler diğer ısı değiştirici komponentlerini bağlantı yapmakta zorluk çekebilir veya bağlantı yapılsa bile daha sonra çalışan sistemde arızalara sebebiyet verebilir.

- Üçüncü işlem kesilen alüminyum borulara makaron takma işlemidir. Makaron olarak adlandırılan malzeme, poliolfenlerden üretilen şeffaf renkte yumuşak bir malzemedir. Boru çaplarından 2-3 mm büyük olarak kullanılan makaronlar boruların dışına geçirilirler ve sıcaklık altında büzülmesi sağlanarak boruların dışında bir çeşit kılıf görevi görürler. Dış çap ölçüleri Ø9 mm ve Ø12 mm arasında değişen bu ürünler ısı değiştiricileri korozyondan ve dış etkenlerden korumak için kullanılırlar.

Makaron kullanımı tüm ürünlerde %100 olduğu için üretilen boru sayısı kadar makaron üretimi yapılması gerekmektedir. Üretilen makaronlar kesilen boruların

boylarından 10-15 mm kısa olarak üretilip borulara teknik resimlerde belirtilen ölçülere geçirilmektedir.

- Dördüncü ana işlem kaynak işlemidir. Kesilip uç formu verilen ve makaronu takılan alüminyum borular ile başka makinelerde kesilip uç formu verilen bakır borular difüzyon kaynağı olarak geçen kaynak yöntemi ile birleştirilirler. Difüzyon kaynağı benzer ya da farklı metallerin birleştirilebildiği katı hal değiştirme işlemidir. Kaynak işlemi için yüksek sıcaklık, uygun basınç ve süreye ihtiyaç vardır. (Keskin, vd. 2019)

Bakır boruların maliyeti alüminyum borulara göre yüksek olduğu için eşanjörlerin büyük bir kısmı alüminyumdan üretilmektedir, firmaların tercihi bu yöndedir. Ayrıca malzemelerden hurda ve fire elde edildiğinde bakır boruya göre maliyet açısından daha az zararlı üretim yapılabilmektedir. Alüminyum boru tercih edilmesinin tek sebebi tabiki maliyet değildir, malzemenin hafifliği ve kolay şekil alması da tercih sebebidir. Dolayısıyla malzemeler bitmiş ürün halini aldıktan sonra nakliye işlemlerinde hafiflikleri dolayı taşımayı kolay hale getirmektedir.

Ürünlerde bakır borular ısı değiştirici sistemlerine kompresör gibi ısı değiştirici döngüsünde kullanılan sistem elemanlarının bağlantı noktalarında kullanılmaktadır. Bakır borular iyi iletkenlik ve yüksek korozyon direncine sahiptir. Alüminyum eşanjörlerin kompresör gibi diğer ekipmanlara bağlantı noktalarında kullanılmak üzere hemen hemen tüm ürünlerde Cu boru kullanılır. Bu borular 10-25 mm arasında seçilerek difüzyon kaynağı ile Al boruyla birleştirilir.

Boruların teknik özelliklerinin yanında üretimi yapılırken deforme edilmeden düzgün şekilde üretiliyor olması gerekmektedir. Isı değiştirici sistemlerinde basınçlı gaz kullanıldığı için borulardaki herhangi bir deformasyonda gaz sızıntısı vb. gibi problemler yaşanabilir ve sistem çalışmaz veya çalışması gerektiği performansta çalıştırılmaz.

- Beşinci işlem kapiler boru takma işlemidir. Makaronu takılıp uç işlemi yapıldıktan sonra kaynak işleminden geçirilen borular eşanjör halini bu aşamadan sonra almaktadır. Bu aşamada kapiler olarak adlandırılan ince kılcal bakır boru, makaronu takılmış alüminyum borunun yanına geçirilir. Kaynaklı alüminyum boru ve bakır kılcal borunun bir araya getirilmesindeki amaç ısı transferidir. Kılcal boru ısı değiştirici çevrim sistemlerinde kısılma vanası görevini görmektedir. Kılcal boru içindeki gaz yüksek basınçtan alçak basınca doğru hareket eder.

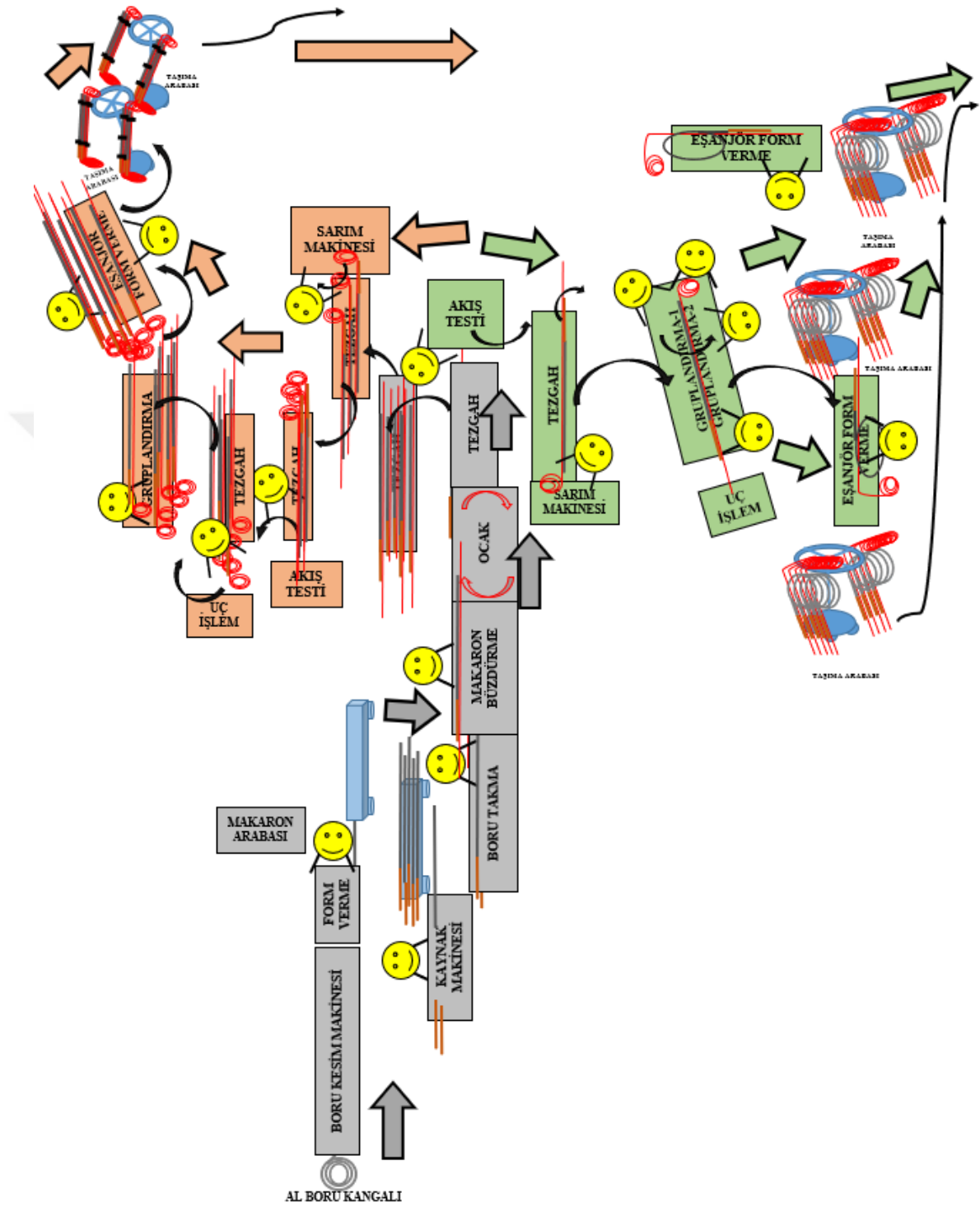
Kılcal borular bakırdan imal edilen, dış ve iç çapı çok küçük olan kılcal malzemelerdir. Dış çapı Ø2 mm, iç çapı Ø1mm civarında olan kılcal borular el ile kolayca şekil alabilen ısı değiştirici komponentlerindedir.

- Altıncı işlem kısmi olarak yapılan makaron büzdürme işlemidir. Makaron içindeki alüminyum borunun yanına geçirilen kılcal borular makaron içinde belirli ölçülere getirilir ve makaronlar kısmi olarak belirli yerlerden bzdrlr. Buradaki amaç, istenen ölçülere getirilip sabitlenen eşanjörlerin sonraki proseste ölçülerinin değişmesini önlemektir.

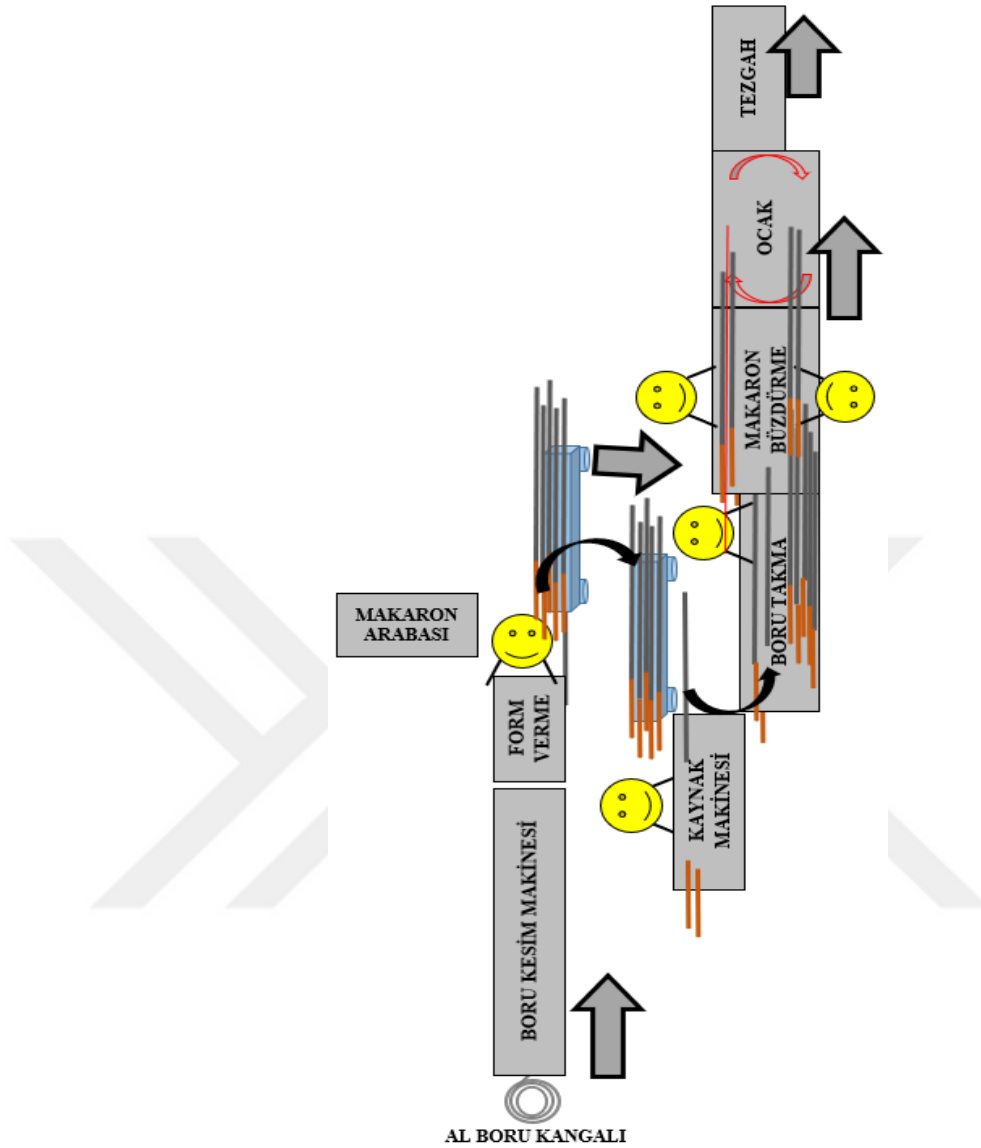
- Yedinci işlem makaronları belirli yerlerden bzdrlen eşanjörlerin, üzerindeki makaronların tamamen bzdrlerek malzeme üzerine yapışmasını sağlamaktır. Bunu sağlamak için eşanjörler, konveyör bant üzerindeki ocağa verilir. Ocak içerisinde 125°C’de 90 saniye kalan eşanjörler konveyörün diğer tarafından bir sonraki proseste geçirilerek üretim devam ettirilir. Şekil 3.7’de yerleşim planında ana hat, hat-1 ve hat-2 görsel olarak eklenmiştir.

Şekil 3.7’de üretim hattı farklı renklerle gösterilmiştir. Burada gri renkte bölüm ana üretim hattıdır, yeşil renkte olan bölüm hat-1 ve turuncu renkte gösterilen bölüm ise hat-2 olarak belirlenmiştir. Sarı olarak gösterilen simgeler de çalışan operatörleri, mavi renkler taşıma arabalarını, kırmızı renkteki Şekiller eşanjörleri ifade etmektedir.

Şekil 3.7: Eşanjör üretim hattı yerleşim ve akış planı – önce



**Şekil 3.8:** Ana üretim hattı yerleşim planı - önce



Gün içinde üretilen model çeşitleri birden fazla olduğu için, modeller arası dönüşlerin hızlı yapılması gerekmektedir. Çalışma saatleri içerisinde hat-1 üretimi için en az 2 kez model değişimi gerçekleşmektedir. Hat-1 ve hat-2 gün içinde sürekli çalıştığı için ana üretim hattında durmadan üretim yapılması gerekmektedir. Hat-2 tek çeşit eşanjör üretmektedir, hat-1 ise gün içerisinde en az 2 kez model dönüşü yapar. Bu sayı 4 veya 5 model dönüşünü bulabilir. Üretim duruşlarını engellemek için dönüşleri en hızlı şekilde yapmak ya da hızlandırmak için aksiyon almak gerekmektedir.

### 3.6.2. Ürün Bazlı Çalışma

Ürün bazlı üretim yapılan hat-1 ve 2’de üretilmesi gereken ürün miktarları ve üretim şekilleri farklıdır. Burada üretilmesi gereken ürünler için takt süresi şu şekilde hesaplanabilir:

Hat-1 üretilmesi gereken ürün miktarı:2365 adet/gün

Hat-1 takt süresi:  $(3600 \times 9) / 2365 = 13,7 \text{ s/ad}$  (3.3)

$$\left( \frac{s}{sa} \times \frac{sa}{vardiya} \right) / \frac{adet}{vardiya} = \frac{s}{adet}$$

Hat-2 üretilmesi gereken ürün miktarı:1420 adet/gün

Hat-2 takt süresi:  $(3600 \times 9) / 1420 = 22,7 \text{ s/ad}$  (3.4)

$$\left( \frac{s}{sa} \times \frac{sa}{vardiya} \right) / \frac{adet}{vardiya} = \frac{s}{adet}$$

olarak hesaplanır. Bu hesaba göre hat-1’den her 13 saniyede, hat-2’den de 21,6 saniyede 1 adet bitmiş ürün çıkmalıdır. Bu sürelerde ürün üretilmediğinde işletmede siparişleri yetiştirmek için mesai yapılmaktadır. Fazla mesai demek işletme için ek maliyet, ek işçilik, fazla ödenen para demektir. Hat dengeleme çalışması yapılmasının amacı, bu verimsizlikleri gidererek katma değerli iş üretmektir. Bu tarz çalışma yürütülen projelerde, verimsizlik kaynaklarını katma değere dönüştürmekle direkt olarak para kazanılamamaktadır. Uzun vadede veya yıllık olarak maliyet girdileri ve çıktıları karşılaştırıldığında bu kazanımlar ciroya kar olarak yansımaktadır. Yapılan verimlilik çalışmaları sonrası alınan aksiyonların etkileri sadece üzerinde çalışılan işleri değil çevresindeki prosesleri de etkileyerek daha büyük kazanımlar sağlamaktadır.

Üretimde hat-1 ve hat-2 olarak ayrılan hatlar ana üretim hattına yakın şekilde hattın iki tarafına yerleştirilmiş olup, çalışması ise ürün bazlı olarak planlanmaktadır. Ana üretim hattında üretilen tüm eşanjörlerin üretim şekli aynı iken bu iki hatta üretilen ürünler teknik resimlerde belirtilen şekilde bazı farklılıklar göz önünde bulundurularak üretilirler. Bu farklılıklar; ölçüsel değişiklikler, farklı renklerde plastik malzemeler, ürün ayrımı yapılması için farklı renkte bazı işaretlemeler ve bantlamalar, farklı sarım teknikleri, eşanjörleri farklı şekillendirme teknikleri, test referans değerlerindeki farklılıklar vb. şeklinde açıklanabilir. Bu sebeple ana üretim hattı karışık modellenmiş üretim hattı olarak yer almaktadır.

Hat-1'de üretilen ürünler plakalı ısı değıştiricilerle montajlı olarak üretilen modellerdir. Diğer bölümlerde üretilen soğutucu komponentlerle başka bir üretim hattında montajı yapılarak sevkiyatı gerçekleştirilir. Üretim adetleri hat-2'ye göre yüksektir. Bu hatta üretilen model sayısı birden fazladır. Çalışma saatleri içerisinde 2 ya da 3 kez model dönüşü yapılabilmektedir. Modeller birbirine yakın özelliklerde olduğu için dönüş işlemleri hızlı yapılabilmektedir.

Hat-2'de tek model çeşidi vardır, üretimde herhangi bir dönüş yapmadan üretime devam edilir. Üretim hattında model dönüşü kaynaklı duruş ya da malzeme bekleme problemi olmamaktadır.

### **3.6.2.1. Hat-1 Çalışma Düzeni**

Ana üretim hattındaki son prosesten makaronları yapışmış olarak gelen eşanjörler burada ilk olarak akış testine tabi tutulur. Akış testinde kılcal borulara basınçlı hava verilerek borunun içinden geçen havanın debisi kontrol edilir. Referans değerler arasında olan kılcal borular bir sonraki prosese verilirken testten geçmeyen ürünler kırmızı renkte etiketlenerek hurdaya ayrılmaktadır.

Akış testinden geçen eşanjörler başka bir tezgaha alınarak kılcal boru uçlarına sarım yapılır. Sarım işlemi operatör tarafından teknik resimlerde istenen çaplarda 10-30mm aralığında yapılır. Sarım işlemi yapılan eşanjörler uç işlemleri yapılmak üzere grupta tezgahına alınırlar. Burada uç işlem olarak tabir edilen işlem, kılcal malzemelerin ucuna yapılan kapama işlemidir. Malzemelerin uçları kapatılarak kılcal boruların içine yabancı malzeme ve hava girmesi önlenmektedir.

Uç kapama işlemi yapılan eşanjörler aynı tezgahta gruptandırma olarak tanımlanan işlemlere alınırlar. Gruptandırma işleminde malzemedden istenen özellikler malzemeye eklenir. Birden fazla operatör çalışır, malzemelerin en çok biriktiği ve karıştığı bölümdür. Birden fazla işlem gerçekleştirildiği için malzemelerde ve işlemlerde karışıklıklar olabilmektedir. Gruptamada malzemelere ölçüsel eklemeler ve işaretlemeler, müşterilerin istediği ek plastik malzemeler ve aparatlar, plastik tapalar, kılçık kelepçeler vb. eklenerek tamamlanmaktadır.

Gruplanan eşanjörler son şeklini almak üzere büküm aparatlarına ve kalıplarına alınırlar. Müşterilerin istediği gibi özel şekillerde hazırlanan büküm kalıplarında



### 3.6.2.2. Hat-2 Çalışma Düzeni

Ana hattaki son prosesten makaronları yapışmış olarak gelen eşanjörler bu bölümde ilk olarak tezgah üzerinde istiflenirler. Bunu yapmaktaki amaç, ürünlerin hat-2 için ayrılması ve hat-1 ile karışmamasıdır. İşletmede eşanjör ve diğer ısı değiştiriciler için büyük bir alan ayrılmıştır, bu alanda üretim hedefinin altına düşmeden yeterince üretim yapılabilmektedir.

Hat-2 için başka bir tezgaha ayrılan malzemeler sarım makinesine alınarak, malzemelerin kılcal boruları teknik resimlerde istenen ölçülerde şekillendirilirler. Burada işlemi biten ürünler diğer işlem olan akış testi için sonraki tezgaha gönderilmektedir.

Akış testinde kılcal borulu eşanjörlere hat-1'deki gibi basınçlı hava verilerek borudan geçen havanın debisi kontrol edilir. Debi değeri istenen referans değerler arasında çıkan kılcal borular bir sonraki proses olan uç işleme verilirken testten geçmeyen ürünler kırmızı renkte etiketle etiketlenerek hurdaya ayrılırlar.

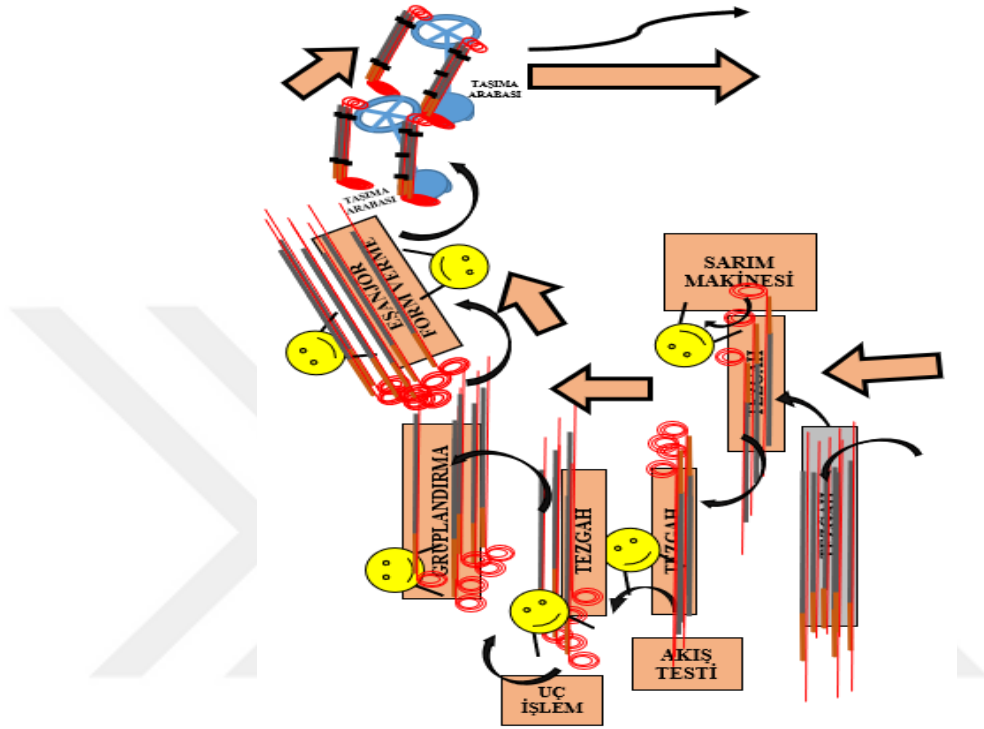
Akış testinden geçen ürünler bir sonraki proses olan uç işleme gönderilir. Uç işlem hat-1'deki uç işlemden farklıdır. Burada kılcal boruların iki ucuna da özel olarak yapılmış makinede S şeklinde dalga formu verilir ve boru ucu kapatılır. Bu form müşterilerin istediği şekilde yapılmaktadır, ısı değiştirici sisteminde bağlantısı yapılacak komponente uygun şekilde bağlantı yapılacak şekilde dizayn edilmiştir. Makinede verilen S formu uygun ölçülerde çıkmazsa ürün hurdaya çıkmaktadır. Proses ürünün kılcal borunun iki ucuna da yapılmaktadır.

Bir sonraki işlem gruplandırma olarak adlandırılan, ürüne ek komponentlerin eklendiği prosestir. Ürüne ait ek komponentler ölçüler dahilinde üzerine eklenir ve görsel olarak kontrol edilir. İşlemler tamamlandıktan sonra diğer prosese geçmek üzere hazır hale getirilirler.

Gruplaması tamamlanan eşanjör, form verilmek üzere büküm tezgahına gelir. Bu proseste eşanjörlere özel, ölçülerine göre yapılmış eşanjör büküm kalıplarında şekil verilir. Verilen şekiller hassas ölçüler dahilindedir, herhangi bir yanlış işlem yapılması durumunda ürünler büküm yapılmadan önceki haline getirilemezse hurdaya verilerek sağlam ürünlerle karışması önlenir. Büküm işlemi tamamlanan eşanjörler eşanjör taşıma arabasına alınarak kaçak testi yapılmak üzere başka bir üretim hattına gönderilir. Eşanjör üretim süreci burada tamamlanır. Gruplama işlemi bu ürün grupları için son işlem

değildir. Bu işlemler yapılırken kalite departmanı ürünleri kontrol ederek üretimin hatasız ilerlemesine katkıda bulunurlar.

**Şekil 3.10:** Hat-2 üretim hattı yerleşim planı - önce



### 3.7. Hat Dengeleme Çalışması

Hat dengeleme çalışmalarında ilk yapılması gereken işlem, çalışma yapılacak darboğazı belirleyerek bu noktanın üzerine yoğunlaşmaktır. Üretim yapan bu tarz işletmelerde kapasite problemi varsa yani üretim adetleri yüksek ve üretilen ürün miktarı istenildiği miktarda ürün alınamıyorsa; kayıplar giderilirse üretim yapılabileceği öngörülüyorsa prosesler incelenmeli ve sorunun neden kaynaklandığı bulunmalıdır. Bazen üretimde incelemeler yaparken sorunlar anlık olarak bulunup çözülebilir. Bunun için üretimin iyice incelenmesi gerekir, bu süre günler hatta haftalar alabilmektedir.

Bu çalışmada; hattı dengelemek için Yamazumi metodu kullanılmış olup üretimde daha çok emek yoğun olarak çalışılan hatlarda meydana gelen darboğazlar

üzerinde durulmuştur. Çalışma öncesinde; üretim hattı iki ay boyunca sadece gözlemlenmiş olup tüm detayları ile üretim aşamaları kaydedilmiştir.

- Operatörlerin çalıştığı prosesler,
- Operatörlerin yaptığı tüm işler,
- Operasyonlarda kullanılan makinelerin sayısı ve çalışma şekli,
- Kullanılan hammadde, ek komponentler ve sarf malzemeler,
- Operatörler çalışırken yaptıkları tüm hareketler, gittikleri prosesler,
- Hammadde geliş şekli ve miktarları,
- Yarı mamullerin akış şekli,
- Prosesler arası iletişim,
- Sürekli kullanılan hammadde sarf ve yardımcı malzemelerin hareketi,
- Tüm proses süreleri,
- Ara stok miktarları,
- Üretim miktarları,
- Model dönüş miktarları ve zamanları,
- Yaşanan zaman kayıpları,
- Arıza sayıları ve süreleri

incelenerek kaydedilmiştir. Sürelerin kaydı, formatı daha önceden hazırlanan ekte verilen zaman etüt formuna işlenmiştir.

Zaman etüt formunda her bir işlem için 10 sütun vardır; prosesler çalışırken 10'ar adet süre alınarak ortalama süreler hesaplanmıştır. Alınan çevrim süreleri tek tek incelenip en küçük operasyonlara bölünerek incelenmiştir. Yapılan gözlemlerle ve alınan sürelerin birleştirilmesi ile hattaki verimsizlik kaynakları tespit edilmiştir. Malzeme taşıma ve aktarma işlemleri bu proseslerde ana verimsizlik kaynaklarıdır. Aşağıdaki bölümlerde hat dengeleme konu başlığı altında yaşanan zaman kayıpları tablolarda gösterilmiştir.

Hat dengeleme çalışmaları yaparken verimlilik artış ve azalışları ile proseslerdeki gelişmeleri takip edebilmek için önceki ve sonraki durumu takip etmek gerekir. Önceki durumu verimlilik çalışmaları yapılmaya başlamadan gözlemleyip kaydetmek hatta gerekli durumlarda fotoğraflamak gerekmektedir. Sonraki durumlar için de verimlilik çalışmaları sonrası üretim hattının son halini alarak yeni düzene alışmasını beklemek gerekmektedir. Sonraki durumlarda hat düzene girmeden süre çalışması yapılırsa üretim hattında çalışanlar yeni düzene alışmadığı için alınan süreler doğru sonucu göstermeyebilir, bu sebeple bir süre beklemek gerekmektedir.

Çalışmalarda hatlardaki süre denge-dengesizlik durumlarını göstermek için grafikler kullanılmıştır. Grafikler incelendiğinde proses süreleri arasındaki farklar daha kolay anlaşılabilir. İşletmelerde de performans göstergelerinde görsel olarak algılamak daha kolay olduğu için işletme içinde grafik kullanımı daha çok tercih edilmektedir.

Bu çalışmada tutulan süreler kameralar ile izlenerek takip edilmiştir ve kamera kayıtlarındaki süreler alınarak hesaplanmıştır. Acil aksiyon alınması gereken zamanlarda, kamera arızaları, bilgisayarda yaşanan problemler vb. olduğu durumlarda kronometre ile süre ölçümüne devam edilerek daha sonrasında sürelerin doğruluğu kameradan alınan süreler ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır.

### **3.8. Önceki Durum**

#### **3.8.1. Ana Üretim Hattı**

Ana üretim hattında proses her ayrıntısı ile incelenmiştir. Proseste iç ve dış kaynaklı olarak birçok süre kaybı ve dengesizlik görülmüştür. İç ve dış kaynaklıdan kasıt; proses anında meydana gelen her türlü kayıp olarak adlandırılırken dış kaynaklı kayıplar; proses anında olmayan, duruş anında işlem dışı etkileyen etmenlerdir.

Üretim alüminyum boru kesim ile başlamaktadır. Burada alüminyum boru üretimi eşanjör üretiminde ilk sıradadır. Bunun için sarmal halde gelen alüminyum borular makineye bağlanır. Makineye bağlanan borular belli boylarda belirli hızlarda kesilir. Yüksek ve düşük hızlarda deformasyondan dolayı malzeme hurda olabildiğinden boru kesim hızı önemlidir. Bu nedenle boru kesim hızı belli referans aralıklarında yapılmaktadır. Bu değerler için operatörlere eğitim verilmiş ve makinelerde referans

aralığına göre kodlanmıştır. Boru makinede kesilirken ikinci işlem olarak operatör makaronu alarak boru makineden çıkarken boruya rastgele geçerir. Makaron ve boru boylarından daha önce bahsedildiği gibi makaron boyu, kesilen boru boyundan her zaman için daha kısadır. Makaronu takılan boru, vakit kaybetmeden operatör tarafından alınarak uç işlem makinesinde havşa yapılarak sonraki prosese bırakılırlar.

Model değiştiği zaman operatör, yeni üretilecek ürünün iş akışına bakarak malzemelerin özelliklerini inceler. Boru iç ve dış çapı değişiyorsa Al boruyu değiştirerek makinenin ayarlarını değiştirir. Eğer, boru çapları sabitse makineden boru boyu ve kesim hızı güncellenerek üretime devam edilir. Sonuç olarak makinede; model değişikliği, makaron takma ve uç işlem olmak üzere üç operasyon bir operatör tarafından yapılır. Tablo 3.1’de proseslerin süreleri verilmiştir. Boru kesme süresi işlemi makine tarafından yapıldığı için süreler dahil edilmemiş olup boru kesme süresi 13 s/adet ‘tir. Birinci operatör için toplam işlem süresi 16,6 saniyedir. Alüminyum boru kesim model değişikliğinde ise süre aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

Yeni model toplam üretim: 1000 adet (ortalama)

$$\text{Harcanan süre: } 18 \times 60 = 1080 \text{ s} \quad (3.5)$$

$$\left( dkx \frac{s}{ak} \right) = s$$

$$\text{Ürün başına harcanan süre: } \frac{1080 \text{ s}}{1000 \text{ adet}} = 1,1 \text{ s} \quad (3.6)$$

**Tablo 3.1: Ana hat - Birinci operatör çalışma süreleri - önce**

Proses	Süre (s)
Alüminyum Boru Kesim Model Değişikliği	1,1
Makaron Takma	9,5
Alüminyum Boru Uç Form Verme	6,0
<b>Toplam</b>	<b>16,6</b>

Kaynak işlemine gelen makaronu geçirilmiş borular difüzyon kaynağında bakır adaptörler ile birleştirilir. Al-Cu kaynağı için operatör bakır üretim prosesinden bakır

getirir. Bir diğ er zaman kaybı da boru taşıma işçiliğidir. Üretimdeki ara stok dengesizliğinden dolayı malzemeler her zaman üretimde akış halinde olmaz. Bu durumda; makine arızası, model değışikligi vb. gibi sebeplerden dolayı ürünler üretilerek bekletilir. Daha önceden yapılan bu malzemeler tezgah veya arabalar ile istiflenerek bekletilirler. Üretim başladığında da istiflenen bu malzemeler kullanılır. Operatörün yaptığı işe ek olarak taşıma işçiliğ i de eklenmiş olur. Operatörün bir ürün üretmek için çalıştığı toplam süre için Tablo 3.2'deki gibi 15,5 saniyedir. Alüminyum boru ve bakır adaptör taşıma verimsizlik kaynağıdır. Yaşanan kayıp süreler hesaplandığında ürün başına  $0,7 + 0,5 = 1,2$  saniye bulunmakta olup bu ise katma değeri olmayan iş tir. Yani zaman kaybıdır.

**Tablo 3.2: Ana hat - İkinci operatör çalışma süreleri - önce**

Proses	Süre (s)
Alüminyum Boru Taşıma	0,7
Bakır Adaptör Taşıma	0,5
Kaynak Yapma	15
<b>Toplam</b>	<b>15,5</b>

Kaynakla birleştirilen malzemelere bu proseste kılcal boru eklenir. Her bir kılcal boru makaron içinden geçirilerek sonraki prosese hazırlanırlar. Kılcal boruların uzunluğu ortalama 3000 mm'dir. Daha uzun ve daha kısa boyda olan kılcal borular vardır. Borular uzun ve ince olduğu için makaronun içinden tek tek geçirmek zaman almaktadır. Zaman kaybı olarak kaydedilen süre, kılcal borunun hatta elle taşınmasıdır. Bu durumda; 45 saniyede ortalama 50 adet boru 2 kişi tarafından getirilir ve süre kaybı 1,8 s/adet olarak hesaplanır. Üçüncü operatörün 1 adet ürün üretmek için toplam çalışma süresi ise Tablo 3.3'deki gibi 12,6 saniye olarak hesaplanmaktadır.

**Tablo 3.3: Ana hat - Üçüncü operatör çalışma süreleri - önce**

Proses	Süre (s)
Kılcal Boru Taşıma	1,8
Boru Takma	10,8
<b>Toplam</b>	<b>12,6</b>

Makarona takılan boruların ocağa verilince; makaron içinde kaymaması, oynamaması ve istenen ölçülerde olması için referans ölçüye getirilen ürünlerin makaronu kısmi olarak manuel olarak büzdürülür. Bu işlem yapılırken pürmüz kullanılır. Yapılan her işlemde ölçülere dikkat edilmesi gerekmektedir, çünkü; hatalı yapılan ürünlerin yeniden işlemi zor olduğundan ürünler hurdaya atılmaktadır. Verimsizlik olarak model değişikliğinde yaşanan zaman kayıplarının yanı sıra diğer bir kayıp da operatör kaybıdır. Burada 2 kişi çalışmaktadır. Toplam süreye bakıldığında 1 operatör için iş gücü 6,65 saniye olarak hesaplanmaktadır. Diğer operatörlere göre çalışma süresi kısadır, burada çalışanların ürünlerin gelmesi için beklediği gözlemlenmiştir. Her operatör için üretim süresi Tablo 3.4'deki gibi 13,3 saniyedir.

**Tablo 3.4: Ana hat - Dördüncü operatör çalışma süreleri - önce**

Proses	Süre (s)
Model Değişikliği	0,3
Makaron Büzdürme	13
<b>Toplam</b>	<b>13,3</b>

Elle yapılan işlemden sonra malzemeler sıcaklığı 125 °C olan konveyör fırına verilerek makaronların tamamen büzdürülmesi sağlanır. Ocak süresi 90 saniye olup burada operatör çalışmadığı için dengeleme çalışmalarında ocak süresi üzerine çalışma

yapılmamıştır. Fırından çıkan malzemeler hat-1 ve hat-2'ye iletilerek bu ana hattın çıkışı tamamlanır.

Hattın çalışma süreleri operasyonların sırasıyla Tablo 3.5'de verilmiştir. Tablo 3.5'de görüldüğü gibi üretim hattında toplam 5 operatör çalışmaktadır. Ortalama çalışma süresi ise ürün başına 11,7 saniyedir.

**Tablo 3.5: Ana hat - Tüm operasyonların süresi ve çalışan sayıları - önce**

Ana Üretim Hattı		Önce
Proses	Süre (s)	Çalışan Operatör Sayısı
Alüminyum Boru Kesim Model Değişikliği	1,1	1
Makaron Takma	9,5	
Alüminyum Boru Uç Form Verme	6,0	
Alüminyum Boru Taşıma	0,7	1
Bakır Adaptör Taşıma	0,5	
Kaynak Yapma	15,0	
Kılcal Boru Taşıma	1,8	1
Boru Takma	10,8	
Model Değişikliği	0,3	2
Makaron Büzdürme	13,0	
<b>Toplam</b>	<b>58,6</b>	<b>5,0</b>
<b>Ortalama</b>	<b>11,7</b>	

Daha önceki bölümlerde ana çalışma hattının takt süresi 8,5 s/ad olarak hesaplanmış olup burada esas alınacak süre ise, operasyonlarda bir adet ürünün çıkıp diğer prosese geçiş süresidir. Tablo 3.6'dan operatörlerin çalışma süreleri incelendiğinde en fazla süre ile çalışan operatörün birinci operatör olduğu görülmektedir. Toplam 5 operatör için ortalama proses süresi 11,7 saniye iken birinci operatör 16,6 saniyede bir ürün üretmektedir. Bu sebeple en büyük süreyi esas almak gerekmektedir. Burada, hattın performansını ve malzeme akışını birinci operatör belirlemektedir. Hattan 16,6 saniyede bir ürün çıktığına göre vardiyada;

$$(3600 \times 9) / 16,6 = 1952 \text{ ad}$$

ürün üretilebilmektedir. Yapılan hesaplamalarla hattın çıkması gereken ürün miktarı toplam 3800 ad / gün'dür. Buradan da görülebileceği gibi hat, neredeyse %50 performansla çalışmaktadır.

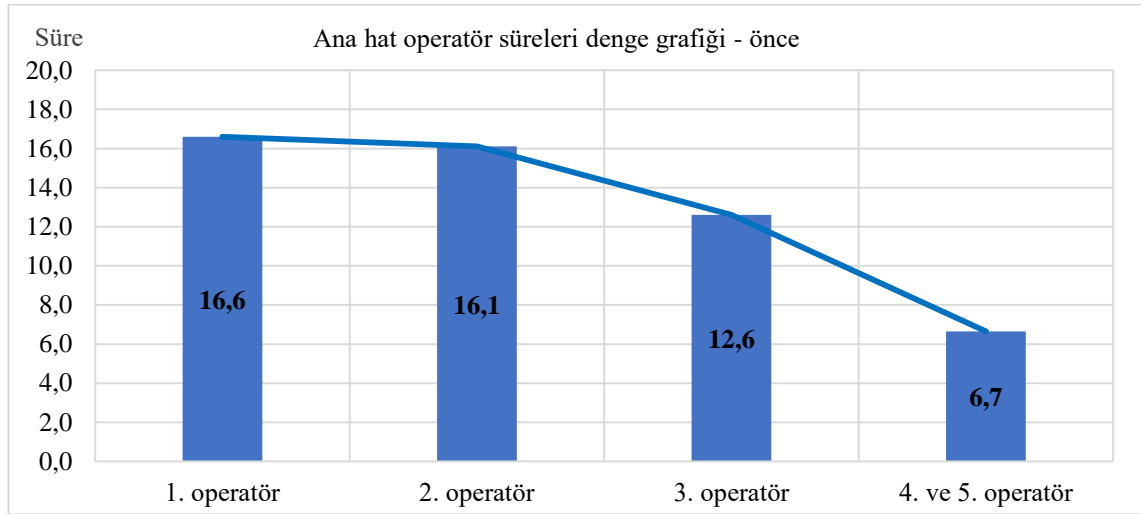
Tablo 3.6'da operatörlerin çalıştıkları süreler arasındaki dengesizlikler görülmektedir. Üretim devam ederken, birinci operatör sürekli çalışırken diğer operatörler daha az sürede çalışma yaptıkları için operatörlerin ürünlerin gelmesi için beklediği görülmektedir. Bu şekilde farklı sürelerde çalışmanın, çalışanlar arasında adil olmadığı görülmektedir, sonuç olarak her operatör bir ürün üzerinde çalışma yapmaktadır ve süresi fazla olan operatörlerin gün sonunda daha fazla yorulduğu gözlemlenmiştir. Bu şekilde çalışma yapılması işletme içinde de fark edilir; az sürede çalışan operatörlerin dengesinin dağıldığı ve başka işlerle uğraştıkları da görülmüştür.

**Tablo 3.6: Ana hat - Operatörlerin toplam çalışma süreleri - önce**

Operatör	Süre (s)
1. operatör	16,6
2. operatör	16,1
3. operatör	12,6
4. ve 5. operatör	6,7

Grafik 3.1'de operatör çalışma süreleri balans diyagramı verilmiştir. Grafik incelendiğinde, operatörlerin çalışma süreleri arasındaki dengesizlikler görülmektedir. Bu grafikten istenen ve arzu edilen ise, tüm sürelerin eşit olması ve üstteki çizginin düz çizgi halinde dengede görünmesidir. Hat dengeleme çalışmaları sonunda istenen, hattı dengeye getirip verimsizlikleri ve katma değersiz işleri ortadan kaldırarak daha düzenli bir grafik elde etmektir.

Grafik 3.1'de tüm süreler toplanıp toplam operatör sayısı olan 5 kişiye oranlandığında ortalama sürenin 14,4 s/ad olduğu görülmektedir. Operasyon süreleri ise her operatörün 14,4 saniye çalışacağı şekilde parçalanmadığı için, hat dengesi mevcut durum için sağlanamamıştır.

**Grafik 3.1:** Ana hat operatör süreleri denge grafiği - önce

Süre dengesizliğine bağlı olarak hatta ara stok miktarlarında her operasyon arasında farklılık vardır. Her operatörün bir sonraki operasyon için oluşturduğu eşanjör sayıları Tablo 3.7’de verilmiştir. En fazla ara stok miktarı birinci ve dördüncü-beşinci operatörün yapmış olduğu ürünlerdir. Bunun sebebi; en uzun operasyon süresi birinci operatöre aittir. Diğer operatörlerin beklememesi için yapılması gereken ise, daha önceki mesailerde yapılmış stokların değerlendirilerek üretime başlandığında ilk olarak bu ürünlerin prosese alınarak imalata başlanmasıdır.

Son operasyonda dördüncü ve beşinci operatörler ürünler konveyör banda bağlı ocağa bıraktığı için ara stok miktarı olması beklenmemektedir. Fakat diğer hatların malzemesiz kalması istenmediği için plansız şekilde sürekli üretim yapılarak araba ve tezgahlar üzerine yarı mamul istiflemeleri yapılmıştır. Verilen planlamalar dışına çıkmıştır, bu durum üretimde karışıklık yaratmaktadır.

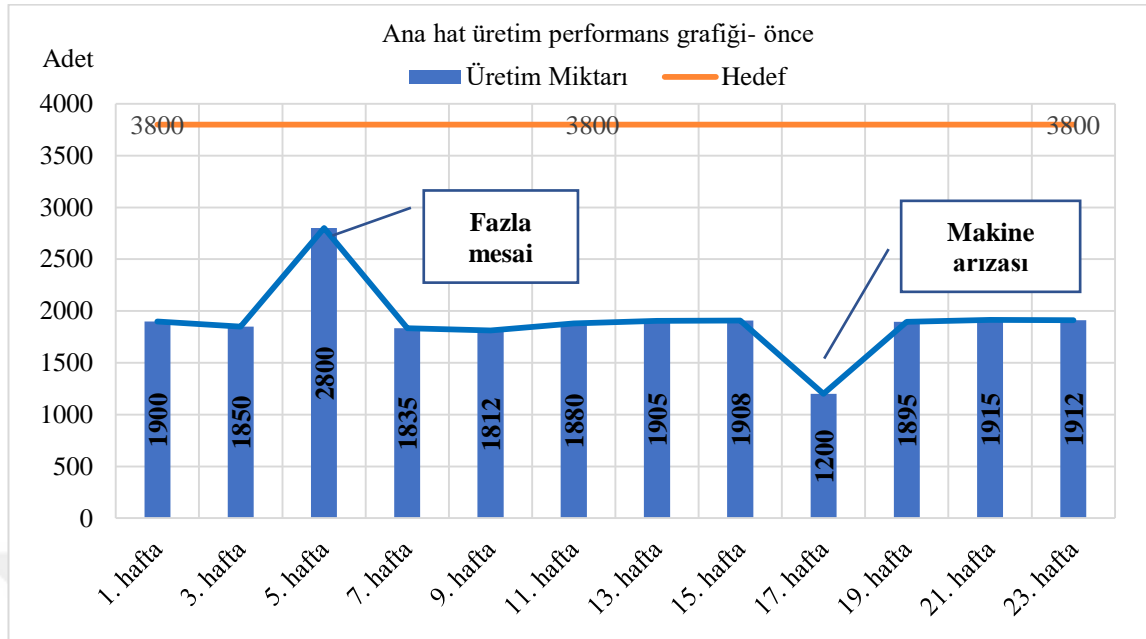
Prosesler arası ara stok miktarlarından istenen; stok miktarlarının her operasyon arası aynı miktarda olmasıdır. Ara stoklarda dengesizlik varsa ve sürekli artarak veya azalarak gidiyorsa, üretim süreleri arasında dengesizlik olduğu süre analizi yapmadan da anlaşılabilir.

**Tablo 3.7: Ana hat - Ara stok miktarları - önce**

<b>Operatör</b>	<b>Adet</b>
1. operatör	1200
2. operatör	850
3. operatör	50
4. ve 5. operatör	1650

Üretimde zaman etüt çalışmaları esnasında üretim performansları üretim adetleri üzerinden incelenmiştir. Aşağıda Grafik 3.2’de 2020 yılında yapılan çalışmaya ait bir ile yirmi üç haftalar arası üretim adetleri gösterilmiştir. Turuncu ile gösterilen hedeflenen adetler daha önceden takt süresinde hesaplandığı gibi 3800 ad/gün olarak verilmiştir. Üretimde fiili olarak üretilen adetlerin üretim hedefinin altında kaldığı görülmektedir. Bu şekilde hazırlanan grafikler ilk izlenim olarak beklenen performansın altında çalışıldığını gösterir ve durumun düzeltilmesi için aksiyon planı hazırlanarak aksiyonlara uyulması ve sürekli takip edilmesi gerektiğinin sinyalini verir.

Veriler haftalık olarak takip edilmiştir, grafiklerin görsel olarak kolay anlaşılabilmesi için Grafik 3.2’de veriler haftalık olarak gösterilmiştir.

**Grafik 3.2:** Ana hat üretim performans grafiği – önce

### 3.8.2. Hat-1 Üretim Hattı

Hat-1’de birden farklı eşanjör modeli üretilmektedir. Bu modellerin çeşidi ve sayısı planlama birimi tarafından belirlenir ve üretim birimine iletilir. Üretimde, planlamanın gönderdiği üretim planına göre üretim yapılmaktadır.

Prosesin ilk adımında ocaktan gelen ürünler akış testine tabi tutulur. Akış testinde ürünlerdeki kılcal malzemelerin debisi kontrol edilir. Belli referans aralıklarında uygulanan testte, testi geçen ürünler sonraki prosese aktarılır. Akış testinde ürünler tek tek test edilmektedir. Akış testinde geçen havanın birimi  $m^3/h$  olup makine ile ürünlere verilen hava 5 atmosfer basınç değerindedir.

Üretim hattı ocaktan çıkan ürünlerin beklemeden üretilerek diğer hatlara geçmesi şeklinde düşünülerek tasarlanmıştır. Fakat ocaktan çıkan ürünler bazı durumlarda direkt akış testine alınamaz. Ara stok dengesizliklerinden dolayı tekerlekli arabalara veya tezgahlara stoklanarak bekletilmekte ve üretileceği zaman arabalardan alınmaktadır. Bu durum üretim devam ederken sürekli olarak yapılmaktadır. Ortalama 10 adet ürün 40 saniye gibi bir sürede istiflenen tezgahlardan üretime taşınmaktadır. Bu şekilde çalışma, süre kayıplarından dolayı verimsizlik olarak kayda geçmiş olup hat dengeleme yaparken dikkate alınmıştır.

Birinci operasyonda operatörün süresine eklenen bir süre daha vardır. Hat-2 için ocağa verilen ürünlerin hat-1 ürünleri ile karışmaması için hat-1 akış testi operatörü, ocağın gelen diğer hattın malzemelerini alarak hat-2 tarafındaki tezgaha bırakmaktadır. Hat-1 için çalışan operatörün yaptığı bu işlem zaman kaybıdır, hat-1’de birinci operatörün çalışma süresi 33 saniye olarak hesaplanmış ve Tablo 3.8’de verilmiştir.

**Tablo 3.8: Hat-1 - Birinci operatör çalışma süreleri - önce**

Proses	Süre (s)
Eşanjör Taşıma	4,0
Akış testi	25,0
Eşanjör Taşıma (hat-2’ye)	4,0
<b>Toplam</b>	<b>33,0</b>

Testten çıkan ürünler kılcal boru sarım işlemine gelirler. İstenen miktarlarda ortalama 1000 mm uzunluğundaki eşanjörün dışında kalan kılcal borular Ø10 mm’den Ø150mm’ye kadar farklı ölçülerde sarılarak istenen ölçülere getirilir. Borunun sarılmasındaki amaç; uçta kalan uzun kılcal boruların zarar görmemesi, teknik resimlerde montaj yapılacağı yere uygun hale getirilmesi vb. şekilde sıralanabilir. Bu şekilde ikinci operatörün toplam çalışma süresi Tablo 3.9’da verildiği gibi 32 saniye olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 3.9: Hat-1 - İkinci operatör çalışma süreleri - önce**

Proses	Süre (s)
Eşanjör Taşıma	4,0
Sarım	28,0
<b>Toplam</b>	<b>32,0</b>

Sarımı yapılan malzemeler uç işlem için sonraki tezgaha bırakılır. Eşanjörleri uç işlem operatörü olarak önce ters çevirir. Bunun yapılmasındaki amaç ürünlerin işlenecek kısımlarını makineye doğru döndürmektir. Ürünlerin kapiler borularının sarımlı olmayan tarafına uç kapama yapılır. Burada ürünleri ters çevirip götürmek için ortalama 45 saniyede ortalama 10 adet eşanjör taşınmaktadır. Taşıma işlemi verimsizlik sebebi olarak kaydedilmiştir. Üçüncü operatörün toplam çalışma süresi Tablo 3.10'daki gibi 39,5 saniye olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 3.10: Hat-1 - Üçüncü operatör çalışma süreleri - önce**

Proses	Süre (s)
Eşanjör Taşıma ve Ters Çevirme	4,5
Uç işlem	35,0
<b>Toplam</b>	<b>39,5</b>

Uç işlemi yapılan eşanjörler gruplama işlemine alınır. Teknik resimlerde malzemelere en çok komponent eklenip çıkarılan, ürünü değiştiren kısım bu bölümdür. Üç operatörün çalıştığı bu bölümde, malzemelere belirtildiği gibi klips eklenir, bant ile komponent yapıştırılır, ürünlerin ucuna koruma ve temizlik amaçlı farklı renklerde tapa takılır, elle yapılan bazı manuel bükümler gibi işlemler yapılır. Aynı tezgah üzerinden çalışılmasına rağmen, yığın halde ara stoklu çalışma yapıldığı için uç işlemde gelen eşanjörler başka tezgaha alınarak bekletilir. Gruplama işlemi biten ürünler, sonraki işlem için operatör tarafından alınması nedeniyle eşanjör taşıma işlemi yapılır. Bu şekilde düzensiz çalışma nedeniyle zaman kaybı oluşmaktadır. Bu tür çalışma sistemi operatör inisiyatifine bağlı olduğunda sıralı bir halde üretim yapılmamaktadır. Çalışma süreleri ise; gruplandırma-1 ve gruplandırma-2'deki işlemler, 3 operatörle aynı anda yapılmaktadır. Operasyon süresi ise, gruplandırma-1 ve gruplandırma-2'deki en uzun süre olan 30 saniyedir. Başka tezgahdan da ortalama 40 saniyede 10 ar adet eşanjör taşınmaktadır. Burada ürün başına taşıma süresi her bir eşanjör için 4 saniye eklenmektedir. Yapılan işlemler sonucunda dördüncü operasyondaki işlem süresi en uzun süre alınarak kişi başı 34 saniye olarak hesaplanmıştır. Tablo 3.11 ve Tablo 3.12'de dördüncü operasyonun süreleri verilmektedir.

**Tablo 3.11: Hat-1 - Dördüncü operatör tüm çalışma süreleri - önce**

Proses	Süre (s)
Eşanjör Taşıma	4,0
Gruplandırma-1	19,5
Gruplandırma-2	30,0

**Tablo 3.12: Hat-1 - Dördüncü operatör çalışma süreleri - önce**

Proses	Süre (s)
Eşanjör Taşıma	4,0
Gruplandırma-2	30,0
<b>Toplam</b>	<b>34,0</b>

Gruplanması biten eşanjörler, son formu verilmek üzere eşanjör büküm aparatlarına getirilir. Büküm aparatları malzemelere özel olarak her modele ayrı ayrı dizayn edilmiştir. Model değiştiğinde büküm aparatı da değişmektedir. Büküm operasyonunda 2 operatör 2 ayrı tezgahta çalışmaktadır. Her büküm operatörü 500 adet ürün üretmektedir, ürün başına büküm işlemi ise 31,7 saniye olarak belirlenmiştir. Model değiştiğinde büküm aparatı da değiştiği için, eski aparatın götürülüp yeni aparatın getirilmesi için 180 saniye süre harcanmaktadır. Buradaki değişim süresi, ürün başına  $180/500=0,4$  saniye olarak Tablo 3.13'e eklenmiştir. Uç işlem operasyonunda malzemeler prosese alınmadan önce ters çevrilmesi nedeniyle burada da eşanjörler büküm aparatına ters şekilde konumlandırılmıştır. Bu sebeple burada da işlem olarak yine eşanjör taşıma ve çevirme işlemi vardır. Bu süreler ise, operasyonlarda yaşanan zaman kayıpları olarak hesaplanmıştır. Yapılan işlemler sonucunda beşinci operasyonun üretim süresi 38,1 saniye olarak hesaplanmıştır.

Form verilen ürünler başka bölümlerde kaçak testi yapılmak üzere taşıma arabalarına asılarak aktarılırlar aktarılmaları sonucunda üretim hattında üretim sona ermiş olmaktadır.

**Tablo 3.13: Hat-1 - Beşinci operatör çalışma süreleri - önce**

<b>Proses</b>	<b>Süre (s)</b>
Model Değişikliği	0,4
Eşanjör Taşıma ve Ters Çevirme	6,0
Eşanjör Form Verme	31,7
<b>Toplam</b>	<b>38,1</b>

Proseslerde yaşanan zaman kayıpları ve verimsizlikler tüm prosesler için ayrı ayrı hesaplanarak kaydedilmiş olup Tablo 3.14’de özet olarak verilmiştir.

**Tablo 3.14: Hat-1 - Tüm operasyonların süresi ve çalışan sayıları - önce**

Hat-1 Üretim Hattı	Önce	
PROSES	Süre (s)	Çalışan Operatör Sayısı
Eşanjör Taşıma	4,0	1
Akış testi	25,0	
Eşanjör Taşıma	4,0	1
Eşanjör Taşıma	4,0	
Sarım	28,0	
Eşanjör Taşıma ve Ters Çevirme	4,5	1
Uç işlem	35,0	
Eşanjör Taşıma	4,0	3
Gruplandırma-1	19,5	
Gruplandırma-2	30,0	
Model Değişikliği	0,4	2
Eşanjör Taşıma ve Ters Çevirme	6,0	
Eşanjör Form Verme	31,7	
<b>Toplam</b>	<b>196,1</b>	<b>8,0</b>
<b>Ortalama</b>	<b>24,5</b>	

Önceki bölümlerde hat-1 çalışma hattının takt süresini 13,7 s/ad olarak hesaplanmıştır. Burada ana üretim hattındaki gibi dikkate alınması gereken süre, operasyonlarda bir adet ürünün çıkıp diğer prosese geçiş süresidir. Tablo 3.15'te süreler incelendiğinde, en fazla sürede çalışan operatörün üçüncü operatör olduğu görülmektedir. Toplam 8 operatör için ortalama proses süresi 30,6 saniye hesaplanırken üçüncü operatör 39,5 saniyede bir adet ürün üretmektedir. Bu sebeple en büyük süreyi almak

gerekmektedir. Çünkü; üretim hattının performansını üçüncü operatör belirlemektedir. Hattan 39,5 saniyede bir ürün çıktığına göre vardiyada;

$$(3600 \times 9) / 39,5 = 820 \text{ ad}$$

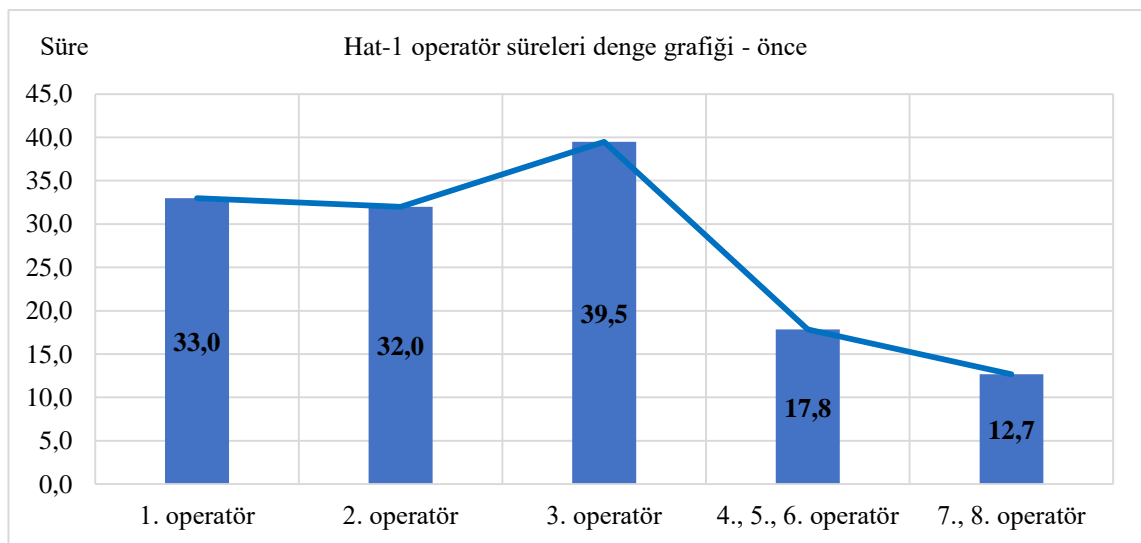
ürün üretilebilmektedir. Yapılan hesaplamalarla üretilmesi gereken ürün miktarı toplam 2365 ad / gün'dür. Buradan hattın %35 performansla çalıştığı görülmektedir.

Tablo 3.15'de operatörlerin çalıştıkları süreler arasındaki dengesizlikler verilmektedir. Üretim anında operatör sürekli çalışırken diğer operatörler daha az sürede çalışma yaptıkları için beklemler meydana gelmektedir.

**Tablo 3.15: Hat-1 - Operatörlerin toplam çalışma süreleri - önce**

Operatör	Süre (s)
1. operatör	33,0
2. operatör	32,0
3. operatör	39,5
4., 5. ve 6. operatör	17,8
7. ve 8. operatör	12,7

**Grafik 3.3: Hat-1 operatör süreleri denge grafiği - önce**



Grafik 3.3'te tüm süreler toplam 8 operatöre göre oranlandığında ortalama sürenin 30,6 s/ad olduğu görülmektedir. Operasyon süreleri her operatörün aynı sürede çalışacağı şekilde parçalanamadığı için hat dengesi mevcut durumda kurulamamıştır.

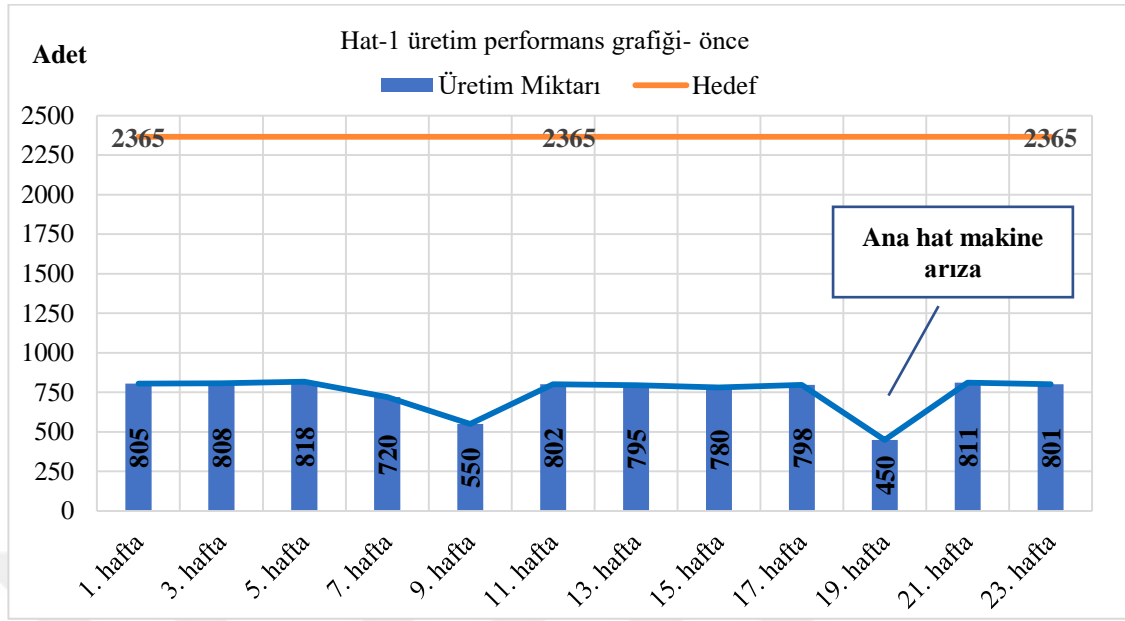
Ara stok miktarları Tablo 3.16'dan incelendiğinde; dengesizlik görülmektedir. Çalışma esnasında; bazı operatörlerin malzeme beklediği, bazılarının çok stok yaptığı anlaşılmaktadır.

**Tablo 3.16: Hat-1 - Ara stok miktarları - önce**

Operatör	Adet
1. operatör	55
2. operatör	60
3. operatör	0
4., 5. ve 6. operatör	0
7. ve 8. operatör	295

Grafik 3.4, işletmede 23 hafta süresinde yapılan üretim adetlerini vermektedir. Grafikte, hedeflenen üretim adetleri turuncu renk ile gösterilmekte olup günlük 2365 adet üretim miktarı ise daha önceden hesaplanan miktarı göstermektedir. Zaman etüt çalışmasına göre üretim performansları üretim adetleri üzerinden incelendiğinde; üretilen adetlerin üretim hedefinin çok fazla altında kaldığı görülmektedir.

Grafik 3.4'e veriler haftalık olarak takip edilmiş ve grafiklerin görsel olarak kolay anlaşılabilmesi için 2 haftalık olarak gösterilmiştir.

**Grafik 3.4:** Hat-1 üretim performans grafiği – önce

### 3.8.3. Hat-2 Üretim Hattı

Hat-2’de tek çeşit model üretilmektedir. Model değişikliği için herhangi bir işlem yapmaya gerek yoktur. Her ürünün üretim şekli sabittir.

Ocaktan konveyörden gelen ürünler hat-1 operatörü tarafından tezgaha alındığı önceki bölümlerde açıklanmıştır. Buradan alınan malzemeler operatör tarafından sarım makinesine getirilerek tek tek sarılır. Tablo 3.17’de birinci operatörün çalışma süresi verilmektedir.

**Tablo 3.17: Hat-2 - Birinci operatör çalışma süreleri - önce**

Proses	Süre (s)
Eşanjör Taşıma	4,0
Sarım	28,0
<b>Toplam</b>	<b>32,0</b>

Sarım işleminden sonra akış testi vardır. Test için eşanjörler makineye alınarak kontrol edilir, testten geçen ürünler sonraki operasyona verilir. Bu testte debi değerleri,

hat-1'den geçen ürünlerden farklı ve sabittir. Makinede herhangi bir debi değeri değişikliği yapılmaz. Makine frekansiyel olarak kalibrasyona gönderilerek doğru çalıştığından emin olunur. Malzeme taşıma ve test süresi Tablo 3.18'de verilmektedir. Tablo 3.18 incelendiğinde, ikinci operatörün toplam çalışması süresinin ürün başına 29 saniye olduğu görülmektedir.

**Tablo 3.18: Hat-2 - İkinci operatör çalışma süreleri - önce**

Proses	Süre (s)
Eşanjör Taşıma	4,0
Akış testi	25,0
<b>Toplam</b>	<b>29,0</b>

Akış testinden geçen ürünler uç işlem operasyonuna gelir. Burada eşanjörün kılcal borularına özel olarak tasarlanmış makinede dalga şeklinde S formu verilir. Kılcal borunun iki tarafına da S formu verilir. İşlemlerin tek makinede yapılması nedeniyle ürünler ters çevrilerek diğer uca da aynı işlem yapılır. İşlemler yapıldıktan sonra görsel kontrolü yapılan ürün bırakılarak devam edilir. Burada toplam çalışma süresi 24,5 saniye olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 3.19: Hat-2 - Üçüncü operatör çalışma süreleri - önce**

Proses	Süre (s)
Eşanjör Taşıma ve Ters Çevirme	4,5
Uç İşlem	20,0
<b>Toplam</b>	<b>24,5</b>

Uç işlemi biten ürünler gruplandırma prosesine gelir. Burada, operatör ortalama 10 adet yarı ürün almaktadır. Bu iş istasyonunda eşanjörlere ölçüler dahilinde klips, bant

gibi diğer komponentler eklenir. Toplam işlem süresi 36,8 saniye olarak hesaplanmış olup buradaki süreler Tablo 3.20’de verilmektedir.

**Tablo 3.20: Hat-2 - Dördüncü operatör çalışma süreleri - önce**

Proses	Süre (s)
Eşanjör Taşıma	4,0
Gruplandırma-1	32,8
<b>Toplam</b>	<b>36,8</b>

Gruplanan ürünler, iki operatörün çalıştığı eşanjör form verme tezgahına ortalama 10 ar adet olarak alınır. Bir operatör ürünlere sünger ve tapa takarken, diğer operatör eşanjörlere aparatta form vererek taşıma arabasına asar. Operatörlerin çalışma süreleri Tablo 3.21’de verilmektedir. Eşanjör taşıma ve gruplandırma işlemini bir operatör yaparken eşanjör form verme işlemini diğer operatör yapmaktadır.

**Tablo 3.21: Hat-2 - Beşinci ve altıncı operatör çalışma süreleri - önce**

Proses	Süre (s)
Eşanjör Taşıma	4,0
Gruplandırma-2	27,0
Eşanjör Form Verme	24,0

Operatörlerin çalışma süreleri arasında farklılık vardır. Tek tezgahta çalışan operatörler ürünleri tek tek sırayla üretirler; operatör malzemeye gruplandırma yaparak büküm operatörüne vermektedir. Büküm işlemi biten ürün arabaya asılarak istiflenir. Her iki operatör farklı malzemeleri üretmez, aksi halde karışıklık oluşmaktadır. Operasyonlar incelendiğinde arabaya asılan ürün süresinin en uzun süre olduğu görülmektedir. Eşanjör taşıma işlemini gruplandırma yapan operatör üstlenmiştir. Bu nedenle Tablo 3.22’deki gibi en uzun işlem proses süresi olarak alınabilir.

**Tablo 3.22: Hat-2 - Beşinci ve altıncı operatör çalışma süreleri - önce**

Proses	Süre (s)
Eşanjör Taşıma	4,0
Gruplandırma-2	27,0
<b>Toplam</b>	<b>31,0</b>

Hat-2’de proseslerde yaşanan zaman kayıpları ve verimsizlikler ayrı ayrı hesaplanıp Tablo 3.23’de özet olarak verilmiştir.

**Tablo 3.23: Hat-2 - Tüm operasyonların süresi ve çalışan sayıları - önce**

Hat-2 Üretim Hattı	Önce	
PROSES	Süre (s)	Çalışan Operatör Sayısı
Eşanjör Taşıma	4,0	1
Sarım	28,0	
Eşanjör Taşıma	4,0	1
Akış testi	25,0	
Eşanjör Taşıma ve Ters Çevirme	4,5	1
Uç İşlem	20,0	
Eşanjör Taşıma	4,0	1
Gruplandırma-1	32,8	
Eşanjör Taşıma	4,0	1
Gruplandırma-2	27,0	
Eşanjör Form Verme	24,0	1
<b>Toplam</b>	<b>177,3</b>	<b>6,0</b>
<b>Ortalama</b>	<b>29,6</b>	

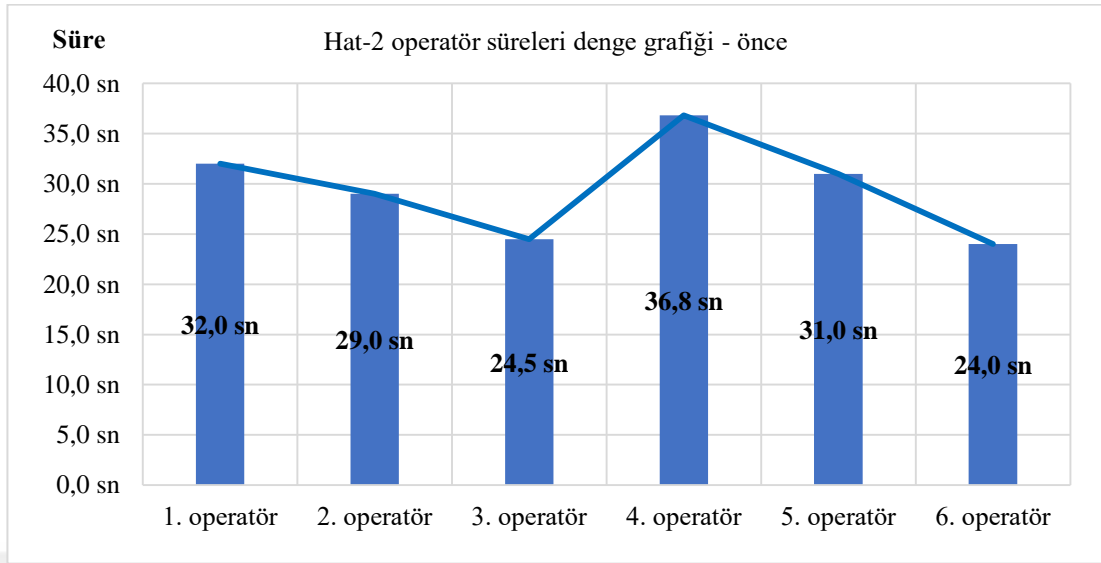
Daha önceki bölümlerde hat-2 çalışma hattı takt süresi 22,7 s/ad olarak hesaplanmıştır. Burada ana ve hat-1 üretim hatlarındaki gibi dikkate alınması gereken süre, operasyonlarda bir adet ürünün çıkıp diğer prosese geçiş süresidir. Tablo 3.24'den süreler incelediğinde; en fazla sürede çalışan operatör dördüncü operatör olduğu görülmektedir. Toplam 6 operatör için ortalama proses süresi 29,6 saniye olurken dördüncü operatör bir adet ürün için 36,8 saniyeye ihtiyaç duymaktadır. Hesaplamalarda en büyük süre alınarak, hattın performansını dördüncü operatör belirlemektedir. Hattan 36,8 saniyede bir ürün çıktığına göre vardiyada;

$$(3600 \times 9) / 36,8 = 880 \text{ ad}$$

ürün üretilebilmektedir. Yapılan hesaplamalarla hattın çıkması gereken ürün miktarı toplam 1427 ad / gün olarak bulunmaktadır. Buradan anlaşıldığı gibi hat-2'nin üretim performansı %62 olarak görülmektedir.

**Tablo 3.24: Hat-2 - Operatörlerin toplam çalışma süreleri - önce**

Operatör	Süre (s)
1. operatör	32,0
2. operatör	29,0
3. operatör	24,5
4. operatör	36,8
5. operatör	31,0
6. operatör	24,0

**Grafik 3.5:** Hat-2 operatör süreleri denge grafiği - önce

Grafik 3.5'te tüm süreler toplam operatör sayısına oranlandığında ortalama sürenin 29,6 s/ad olduğu görülmektedir. Operasyon süreleri her operatörün 29,6 saniye çalışacağı şekilde parçalanamadığı için hat dengesi mevcut durumda kurulamamıştır.

Ara stok miktarlarının verildiği Tablo 3.25 incelendiğinde; diğer hatlar gibi ara stok miktarlarının dengesiz olduğu görülmektedir. Tablo 3.25'den görülebileceği gibi bazı operatörler malzeme beklerken bazı operatörlerin fazla ara stok yapmış olduğu görülmektedir.

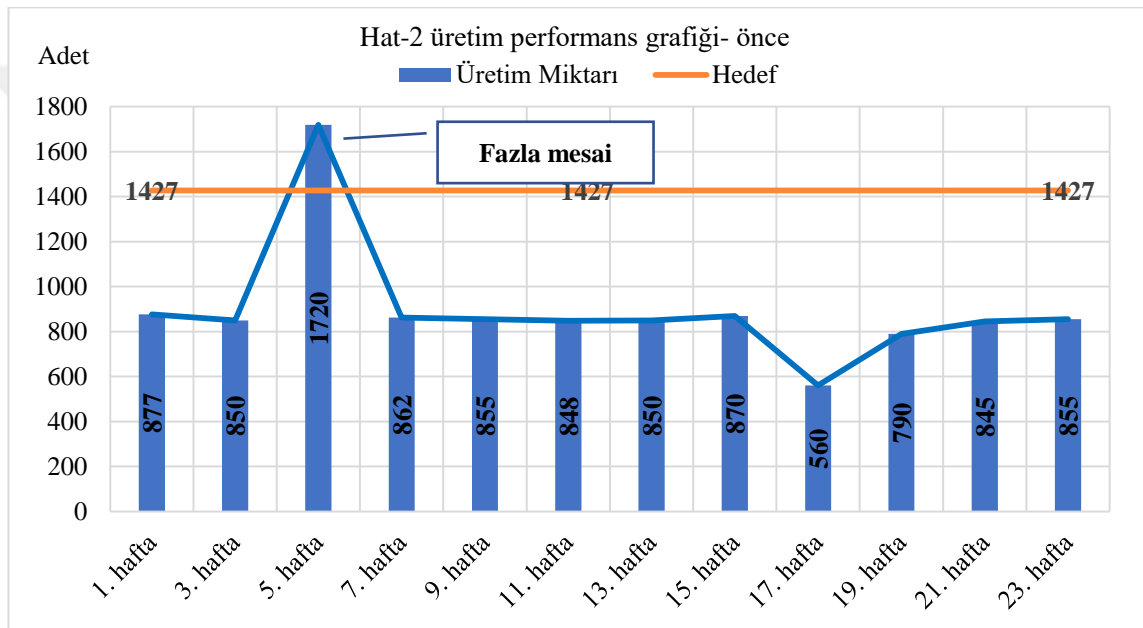
**Tablo 3.25:** Hat-2 - Ara stok miktarları - önce

Operatör	Adet
Tezgah	550
1. operatör	50
2. operatör	65
3. operatör	150
4. operatör	0
5. operatör	41
6. operatör	180

Grafik 3.6, işletmede 23 hafta süresinde yapılan üretim adetlerini vermektedir. Grafikte, hedeflenen üretim adetleri turuncu renk ile gösterilmekte olup günlük 1427 adet üretim miktarı ise daha önceden hesaplanan miktarı göstermektedir. Zaman etüt çalışmasına göre üretim performansları üretim adetleri üzerinden incelendiğinde; üretilen adetlerin üretim hedefinin çok fazla altında kaldığı görülmektedir.

Grafik 3.6'da veriler haftalık olarak takip edilmiş ve grafiklerin görsel olarak kolay anlaşılabilmesi için 2 haftalık olarak gösterilmiştir.

**Grafik 3.6:** Hat-2 üretim performans grafiği – önce



### 3.9. Arena Simülasyon Önceki Durum

Mevcut durumdaki çalışma şekline ve sürelerine göre Arena 16.1'de üretim simülasyonu yapılmıştır. Bu tez çalışmasında 2 farklı model ve ortak üretim hattı olduğu için simülasyon programında create, assign, process, decide ve dispose modülleri kullanılmıştır.

Şekil 3.11: Arena process modelü

Process

Name: operasyon1 Type: Standard

Logic

Action: Seize Delay Release Priority: Medium(2)

Resources:

Resource, opt1, 1  
<End of list>

Add...  
Edit...  
Delete

Delay Type: Constant Units: Seconds Allocation: Value Added

Value: 16.6

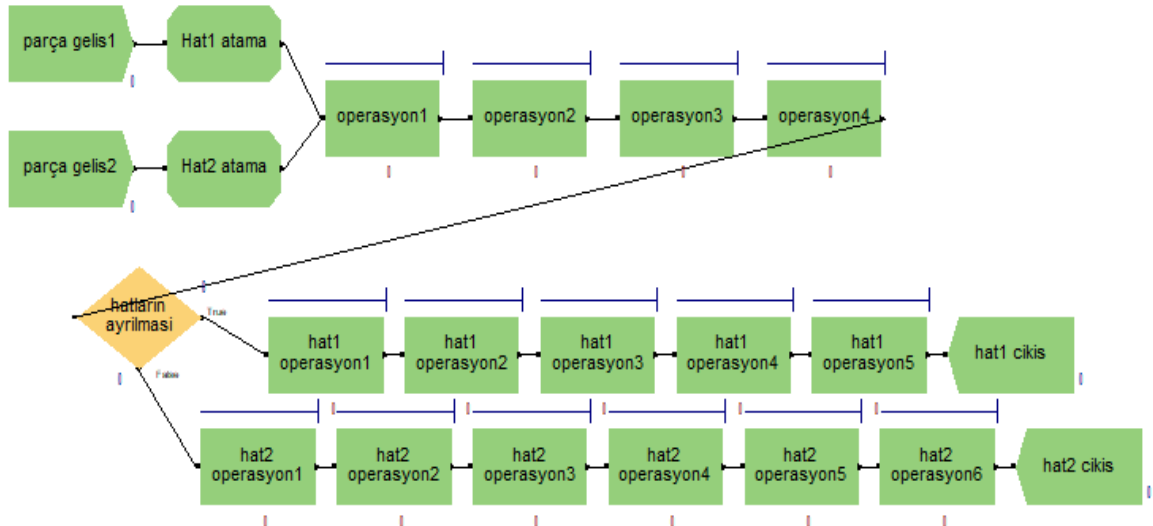
Report Statistics

Comment:

OK Cancel Help

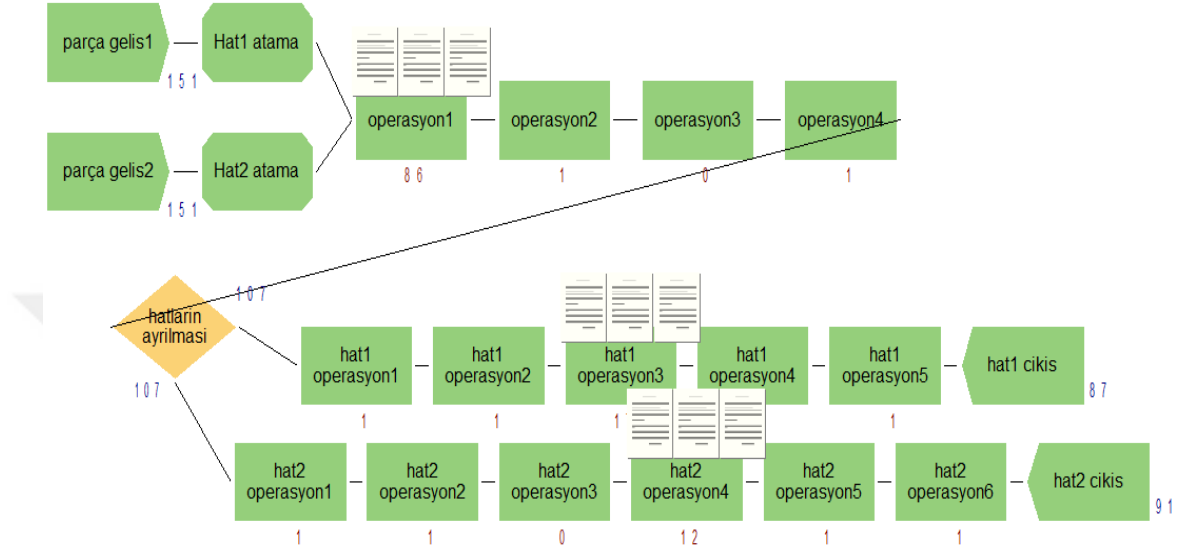
Yapılan simülasyon gerçekte alınan üretim adetlerini desteklemekte olup çalışmada Şekil 3.12’de verildiği gibi simule edilmiştir.

Şekil 3.12: Arena simülasyon hat akış düzeni - önceki durum



Arena programında simülasyon 1 saatlik çalışma süresi dikkate alınarak yapılmıştır. Alınan çıktı sonucu 9 saat ile oran orantı yapılarak hesaplanmıştır. Şekil 3.13'de bir saatlik simülasyon çıktısının sonucu verilmektedir.

**Şekil 3.13:** Arena simülasyon sonucu - önceki durum



Yapılan çalışmalar sonucunda; bir saat içinde hat-1'de 87 adet, hat-2'de ise 91 adet bitmiş ürün elde edilmiştir. Buradan da anlaşılacağı üzere, gün sonunda toplam  $(87 + 91) \times 9 = 1602$  ad ürün üretilbileceği görülmektedir. Yapılan simülasyon sonucunda, gerçekteki üretim miktarına yakın adetlerde üretim alınmıştır. Bu durum programda yapılan simülasyonun doğruluğu göstermektedir.

### 3.10. Aksiyon Planı

Hat dengeleme çalışmalarında, hatlar incelenip tüm süreleri alındıktan sonra hattı düzene sokarak hedeflenen sürelerle ve adetlere ulaşmak için yapılması gereken bazı işlemler vardır. Bunlar, aksiyon planı adı altında toparlanarak bir liste oluşturulmuştur. Her hat dengeleme çalışmasının aksiyon planı hazırlanarak takip edilmekte ve ihtiyaç durumlarında güncellenerek yeni aksiyonlar eklenmektedir. Bu aksiyonların verimli bir şekilde tamamlanarak sonuçların elde edilmesi için yapılacak çalışmalara terminler verilmiştir. Verilen termin süresi, tüm aksiyonların tamamlanması için genellikle üç aydır. Bu süre; üzerinde çalışılan projenin büyüklüğüne ve karmaşıklığına göre değişmektedir. Bu süreyi etkileyen bir diğer faktör de aksiyon sahibi birimlerin

aksiyonları tamamlama süreleridir. Birimde yoğunluk çok ise ve iş öncelikleri başka projelere verildiyse termin sürelerinde güncelleme yapılabilmektedir.

Hazırlanan aksiyon planının verildiği Tablo 3.26 incelendiğinde; toplamda 40 adet aksiyon alındığı ve hepsinin tamamlandığı görülmektedir. Çalışmalarda, bazı aksiyonlar terminlerinden önce bitirilirken termin tarihi geciken aksiyonlar da olmuştur.





**Tablo 3.26 : Aksiyon planı listesi (devam)**

Sıra	Hat	Problem	Aksiyon	Aksiyon Durumu / Haftalar											Termin	
				1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21		23
8	Ana hat	Makine performansı	Makaron büzdürme işlemi yapılan aparat küçük ve yavaş çalışıyor. Manuel olarak kullanılıyor. Aparat daha büyüğü ile değiştirilerek manuel olarak yapılmaktan kurtarılmalı.											√		H19
9	Ana hat	Model değişimi	Model değişikliklerinde ölçüler değişince çelik metre ile ölçüm yapılarak referans ölçüler belirleniyor. Değişikliklerin hızlı yapılması sağlanmalı, manuel ölçüm yerine sabit aparatlar ile ölçüler kolay ayarlanır hale getirilmeli.											√		H9
10	Ana hat	Makaron taşıma	Ayrı kurulacak makaron kesim bölgesi için makaronların taşınmasını kolaylaştıracak tekerlekli taşıma arabaları yaptırılmalı; 2 adet deneme yapıp, verimli olursa sayısı çoğaltılmalı.											√		H18
11	Ana hat	Makine yetersiz	Kaynak makinesi çalışabilir kapasitenin altında kalıyor, bir adet daha gerekiyor; yeni makine siparişi verilmeli..											√		H11
12	Ana hat	Hammadde akış	Hammadde akışında yaşanan sorunların giderilmesi için ilgili bölümler ile çalışılmalı, malzeme bekleme önlenerek üretimi durdurmaların önüne geçilmeli.											√		H15
13	Hat-1	Makine performansı	Akış makinesi debi kontrolünde ürünleri tek tek test ediyor, operatör test sırasında bekleme yapıyor. Makine grup halde test edebilir hale getirilmeli veya toplu test edebilen makine siparişi verilmeli.											√		H19





**Tablo 3.26: Aksiyon planı listesi (devam)**

Sıra	Hat	Problem	Aksiyon	Aksiyon Durumu / Haftalar											Termin			
				1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21		23		
27	Hat-2	Üretim performansı	Gruplandırma-1 ve gruplandırma-2 işlemleri ortaklaştırılmalı; işlemleri tek operatörün yapması sağlanacak şekilde çalışma yapılmalı.							√								H13
28	Hat-2	Üretim performansı	Gruplandırma işlemleri için operasyonu hızlandırıcı ekipman ve aparatlarla hat desteklenmeli. (bant makinesi, ölçü aletlerinin sabitlenmesi, kullanılan aparatların tezgaha monte edilmesi vb.)											√				H15
29	Hat-2	Aparat arıza	Eşanjör form verme operasyonunda kullanılan aparat, ölçü kontrolünü kolaylaştıracak şekilde revize edilmeli, aparata bükümü kolaylaştıracak büküm kolu eklenmeli.											√				H13
30	Ana hat Hat-1 Hat-2	Üretim akışı	Üretim programı güncellenmeli; yeni çalışma düzenine göre senkronize çalışma sağlanmalı.							√								H11
31	Ana hat Hat-1 Hat-2	Üretim akışı	Operatörlere tek parça akışı hakkında eğitim düzenlenmeli, toplu üretimin önüne geçilerek kontrollü üretim sağlanmalı.											√				H15
32	Ana hat Hat-1 Hat-2	Hedeflerin bilinmesi	Tüm üretim hatlarına hedeflerini gösteren çizelgeler verilerek operatörlerin üretmesi gereken adetler hakkında bilgilendirme yapılmalı; üretim hedefleri son halini alana kadar haftalık güncellenmeli.												√			H15





9,5 saniyeden 6 saniyeye düştüğü görülmüştür. Süre kısalmasının bir sebebi de, kesik gelen makaronların kasalara değil arabalara istiflenerek daha kolay alınabilir hale getirilmesidir. Diğer sebebi ise, makaronlar arabalara daha az adette konularak karışma durumları ortadan kaldırılmıştır. Eski durumda kasalara ortalama 250 adet makaron istiflenirken yeni durumda arabalara konulacak makaron miktarı 100 adet olarak belirlenmiştir. Buna ek olarak makaron kesme işçiliği, operatörden alınarak başka bir hatta üretilmeye başlanmıştır. Makaron kesimi makinede yapıldığı için bu işlem diğer hatlarda bakır boruları kesen operatöre verilmiş olup yeni bir operatör bu iş için alınmamıştır.

Alüminyum boru uç form verme işlemi, daha önce adet başına 6 saniye iken makineye revizyon yapılarak adet başına 2 saniyeye düşürülmüştür. Ayrıca, önceki durumda sık sık arızalanması nedeniyle iş kaybına neden olan ve yavaş çalışan makinenin parçaları değiştirilerek hızlandırılmıştır.

**Tablo 3.27: Ana hat - Birinci operatör çalışma süreleri - sonra**

Proses	Süre (s)
Alüminyum Boru Kesim Model Değişikliği	0,0
Makaron Takma	6,0
Alüminyum Boru Uç Form Verme	2,0
<b>Toplam</b>	<b>8,0</b>

Kaynak operasyonunda ise; daha önce proseste çalışan kişi sayısı bir iken bu sayı iki operatöre çıkartılmıştır. Bunun için, iyileştirme öncesi makaron büzdürme işlemi yapan operatör bu proseste kaydırılmıştır. Bu proseste, önceki durumda kaynak yapmak için alüminyum boru ve adaptör taşıma işçiliği bulunurken bu işlem kaldırılmıştır. Yeniden düzenlenen iş planında, önceki operasyonda üretilen alüminyum borular direkt olarak kaynak operasyonuna bırakılmaktadır. Bakır boruda ise, hattın yanına bakır kanbanı kurularak kaynak işleminde sürekli malzeme bulundurma olanağı sağlanmıştır. Kanban kurulması ile birlikte sadece bu hattın değil, işletmede bakır kullanan diğer üretim hatlarına da iyileştirme yapılmış olmaktadır. Yapılan değişiklikler sonucunda;

kaynak süresinde 0,3 saniyelik bir iyileştirme görünmektedir. Bunun nedeni ise, operatörün sadece kaynak işlemine yoğunlaşarak daha etkin çalışmasıdır.

Üretimde operatörlerin rassal olarak tuttuğu bazı üretim formları bulunmaktadır. Günlük olarak kaydedilen bu formlar; takip edilmediği için düzensiz olarak doldurulmakta ve herhangi bir işlemde kullanılır durumda değildir. Yapılan işlemlerde, formlar düzeltilerek yeniden revize edilmiş; makine bakımı ile hatta oluşan arıza ve duruşların nedenleri ve sürelerinin yazılması istenen bir form oluşturulup hatta tanımlanmıştır. Bu formlar, operatörler tarafından her hatta doldurulmak üzere operatörlere zimmetlenmiştir. Formun bir tanesi, her iki saatte bir kez doldurulmak üzere ana hatta kaynak operatörlerine teslim edilmiş ve süreler ise Tablo 3.28'e eklenmiştir.

Üretim hattında 2 kişinin çalışması sonucunda kaynak üretim süresi  $16,2/2 = 8,1$  saniye olarak hesaplanmaktadır.

Boru takma operasyonunda kılcal boru taşıma işlemi, aksiyon listesinde belirtildiği gibi kanban kurularak düşürülmüştür. Bu malzemeler için kanban kurulmasında en büyük avantaj, malzeme taşımamaktır. Çünkü; borular uzun ve ince olduğu için dağıtmadan dikkatli bir şekilde taşıma yapmak önemlidir. Kanban sistemi boru takma işlemi yapılan tezgahın altına, raflı dolap eklenerek sağlanmıştır. Dolaba belirlenen ölçü ve adetlerde koyulan borular bittiğinde üretilerek tamamlanmaktadır. Bu işlem bakır boru makinesinde çalışan operatöre verilmiştir.

**Tablo 3.28: Ana hat - İkinci ve üçüncü operatör çalışma süreleri - sonra**

Proses	Süre (s)
Alüminyum Boru Taşıma	0,0
Bakır Adaptör Taşıma	0,0
Kaynak Yapma	14,7
Frekansiyel günlük form doldurma	1,5
<b>Toplam</b>	<b>16,2</b>

Boru takma işçiliği süresinde, iyileştirme yapılmıştır. Bunun sebebi; kılcal borular makaron içine tek tek takılırken 3'lü yapılarak işlem hızlandırılmıştır. Sonradan eklendiği için aksiyon planı listesinde yoktur.

**Tablo 3.29: Ana hat - Dördüncü operatör çalışma süreleri - sonra**

Proses	Süre (s)
Kılcal Boru Taşıma	0,0
Boru Takma	8,1
<b>Toplam</b>	<b>8,1</b>

Makaron büzdürme işleminde, iyileştirme öncesi 2 operatör çalışmaktaydı. İyileştirme çalışmasında, ilk aşamada başka bir cihazla büzdürme işlemi denenmiş ve proses süresinin 10 s/adet'e düştüğü görülmüştür. Daha sonra diğer proseslere göre sürenin uzun olduğu görülerek başka bir cihaz takılmıştır. İyileştirme sonrası makaron büzdürme proses süresi 13 s/ad'den 8,1 s/ad'e düşmüştür. Makaron büzdürme aparatı değiştirilerek otomatik hale getirilmiştir. Büzdürme işlemi hızlanınca proses süresi kısalmıştır. Model değişikliğinde ise değişimin hızlanması için ölçü ve ayar aparatları sabitlenerek süre harcamadan değişiklik yapılır hale getirilmiştir.

**Tablo 3.30: Ana hat - Beşinci operatör çalışma süreleri - sonra**

Proses	Süre (s)
Model Değişikliği	0,0
Makaron Büzdürme	8,1
<b>Toplam</b>	<b>8,1</b>

Ana hatta sonraki durum için proses süreleri Tablo 3.31'den görebileceği gibi en büyük proses süresi 8,1 s/ad'tir. Burada hatta çalışan toplam operatör sayısında bir değişiklik olmamıştır.

**Tablo 3.31: Ana hat - Tüm operasyonların süresi ve çalışan sayıları - sonra**

Ana Üretim Hattı	Sonra	
Proses	Süre (sn)	Çalışan Operatör Sayısı
Alüminyum Boru Kesim Model Değişikliği	0,0	
Makaron Takma	6,0	1
Alüminyum Boru Uç Form Verme	2,0	
Alüminyum Boru Taşıma	0,0	
Bakır Adaptör Taşıma	0,0	
Kaynak Yapma	14,7	2
Frekansiyel günlük form doldurma	1,5	
Kılcal Boru Taşıma	0,0	1
Boru Takma	8,1	
Model Değişikliği	0,0	1
Makaron Büzdürme	8,1	
<b>Toplam</b>	<b>40,4</b>	<b>5,0</b>
<b>Ortalama</b>	<b>8,1</b>	<b>sn / op</b>

Toplam operatör çalışma sürelerini Tablo 3.31'den incelendiğinde en büyük süre 8,1 saniyedir. Üretilcek ürün miktarı hesaplandığında vardiyada;

$$3600 \times 9 / 8,1 = 4000 \text{ ad}$$

ürün üretilebileceği görülmektedir. Bu proses süresine operatörlerin yorgunluk payının eklenmesi gerekmektedir. Kahya (2015), yaptığı çalışmada kişisel dinlenme paylarını, ağır şartlar altında çalışma yapılmadığı için ortalama dinlenme payı kaynak işlemi hariç kadınlar ve erkekler için %5 olarak belirlemiştir. İncelemeler sonrası düşen süreler için +%5 ekleme yapıldığında yeni üretim miktarı;

$$3600 \times 9 / (8,1 \times 1,05) = 3600 \times 9 / 8,5 = 3811 \text{ ad}$$

olarak hesaplanabilir. Önceki durumda takt süresi hesaplandığında üretilmesi gereken ürün miktarının günlük 3800 adet olması gerekmektedir. İyileştirme sonrası hedeflenen üretim adetine ulaşılabileceği görülmektedir. İyileştirme öncesi en büyük proses süresi

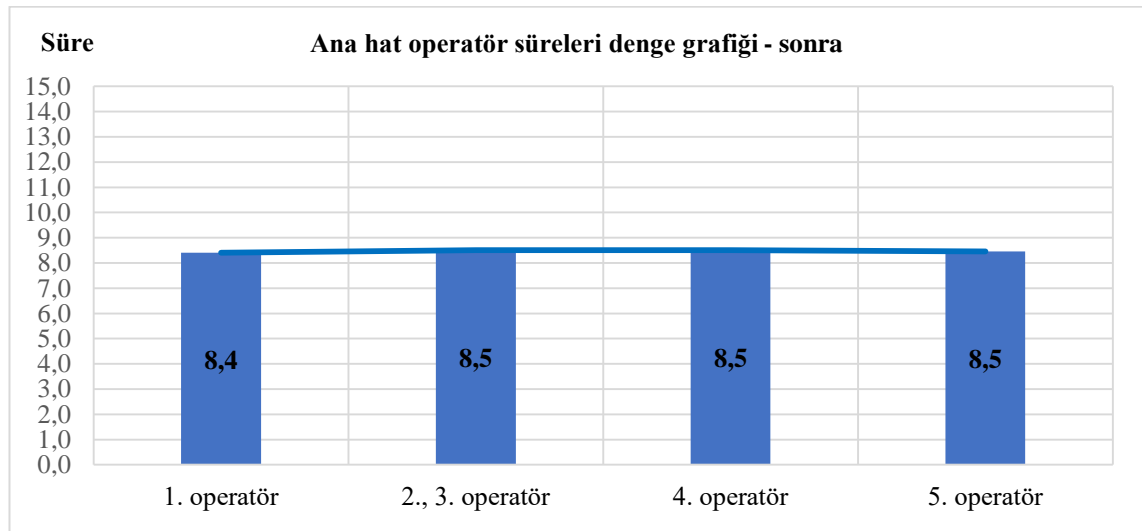
ile hatta 1952 adet ürün üretilebileceğini hesaplamıştır. Yeni süreler ile üretim kapasitesinin ilk duruma göre %48 arttığı görülmektedir.

**Tablo 3.32: Ana hat - Operatörlerin toplam çalışma süreleri - sonra**

Operatör	Süre (s)	Dinlenme payı ile (s)
1. operatör	8,0	8,4
2., 3. operatör	8,1	8,5
4. operatör	8,1	8,5
5. operatör	8,1	8,5

Son durumda yapılan iyileştirmeler ile operatörlerin çalışma sürelerinin eşitlenmesi sağlanmıştır. Bu durum Grafik 3.7’de gösterilmekte olup istendiği gibi, daha düz bir çizgi elde edilmiştir.

**Grafik 3.7: Ana hat operatör süreleri denge grafiği - sonra**

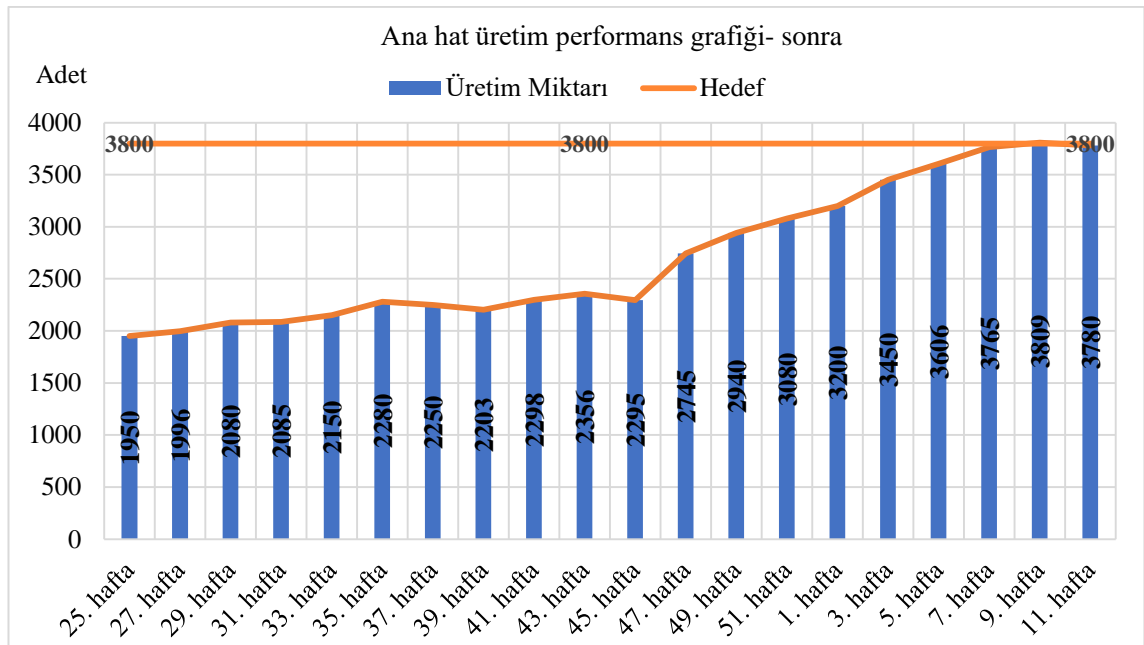


Ara stok miktarları incelendiğinde; miktarları düşürülerek hattaki yığın görüntüsü ortadan kaldırılmıştır. Ara stokların miktarı sıfırlansın istenmez, arada bir miktar malzeme bulunması hatta oluşan aksaklık, duraklama durumunda bir süre üretimin devam etmesini sağlamaktadır.

**Tablo 3.33: Ana hat - Ara stok miktarları - sonra**

Operatör	Adet
1. operatör	10
2., 3. operatör	10 (5+5)
4. operatör	5
5. operatör	5

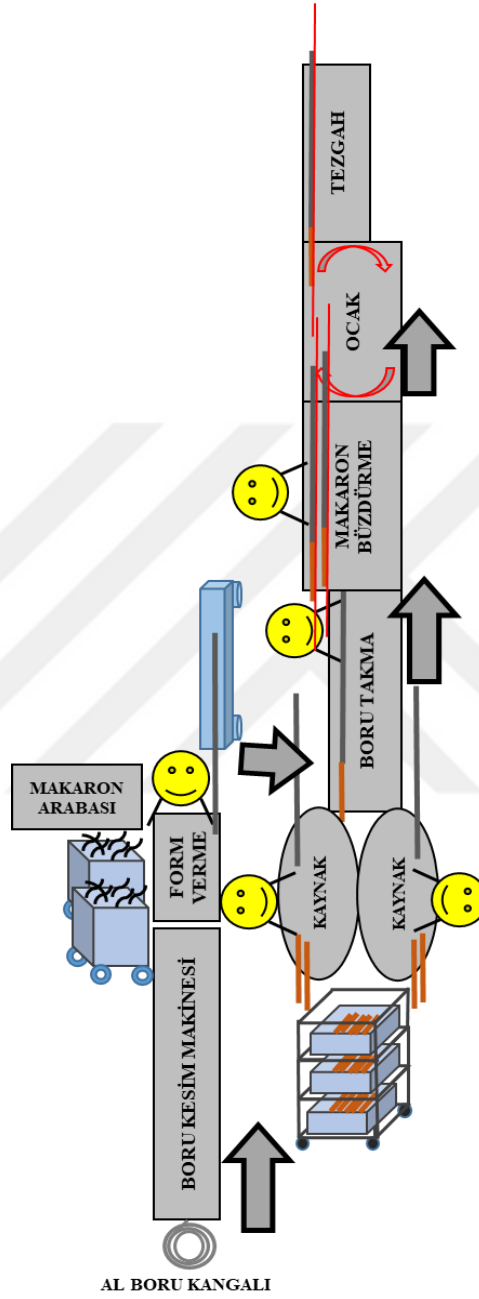
Üretim performansları incelendiğinde Grafik 3.8'de 2020 yılı 25. haftası ile 2021 yılının 11. haftalar arası üretim adetleri gösterilmiştir. Veriler haftalık olarak takip edilmiştir, önceki durumda olduğu gibi grafiklerde görsel olarak kolay anlaşılabilmesi için 2 haftalık olarak verilmiştir. Üretim adetlerinin alınan aksiyonlarla birlikte artış gösterdiği görülmektedir. Son 4 haftada üretim adetleri verilen hedefe ulaşmıştır.

**Grafik 3.8: Ana hat üretim performans grafiği- sonra**

Hat dengeleme sonrası hattın süreleri ile birlikte akışı da düzenlenmiştir. Tezgah ve masalar birbirlerine yaklaştırılıp daha kompakt bir yerleşim elde edilmiştir. Eskiyen

ve deforme durumdaki masalar yenilenerek görselleştirilerek çalışma alanları iyileştirilmiştir. Ana hat Şekil 3.14'deki gibi son halini almıştır.

**Şekil 3.14:** Ana hat üretim hattı yerleşim planı ve hat akışı - sonra



### 3.11.2. Hat-1 Üretim Hattı

Hat-1'de alınan aksiyonlar ile ana hattaki gibi proses sürelerinde ve ara stok miktarlarında iyileştirmeler olmuştur. Birinci operatörün yaptığı işlemler incelendiğinde; malzeme taşıma işlemi kaldırılmıştır. Hat-2 operatörü kendi malzemesini alacak şekilde iyileştirme yapılmıştır. Hat-1'e ait olan malzemeleri taşıması ise; fazla miktarda yapılan

ara stokların kaldırılarak tek parça akışı çalışan hat haline getirilerek iyileştirilmiştir. Önceki durumda 25 saniye olan debi test süresi 11 saniyeye indirilmiştir. Debi testinde önceki durumda malzemeler tek tek test edilirken sonraki durumda malzemeleri 10 lu test eden makine siparişi verilip denenmiş ve verimli olduğu görülmüştür. Yeni makine ile üretime devam edilmiştir.

Üretimde operatörlerin günlük doldurdukları formlar düzeltilerek revize edilerek üretim adetlerinin, üretim modellerin, hatta oluşan arıza ve duruşların nedenleri ve sürelerinin yazıldığı bir form haline getirilmiştir. Form her iki saatte bir kez doldurulmak üzere hat-1’de birinci operatöre teslim edilmiştir. Süresi de Tablo 3.34’e eklenmiştir.

**Tablo 3.34: Hat-1 - Birinci operatör çalışma süreleri - sonra**

PROSES	Süre (s)
Eşanjör Taşıma	0,0
Akış testi	11,0
Eşanjör Taşıma	0,0
Frekansiyel günlük form doldurma	2,0
<b>Toplam</b>	<b>13,0</b>

Kılcal boru sarım işleminde proses süresi 28 saniyeden 12,9 saniyeye kadar düşürülmüştür. Makine gün içerisinde sürekli çalıştığı için yıpranmış ve ilk zamanlardaki performansta çalıştırılmamaktadır. Makine ekipmanları tamamen değiştirilip yenilenerek kendinden sarım yapar bir makine haline getirilmiştir. Burada, operatör sadece malzemeyi takma ve çıkarma işlemi yapmaktadır. Süre kısalırken operatörün işi hafiflemiştir. Malzeme taşıma işlemi ise yerleşim optimizasyonu ve fazla ara stokların kaldırılması ile sıfıra indirilmiştir.

**Tablo 3.35: Hat-1 - İkinci operatör çalışma süreleri - sonra**

PROSES	Süre (s)
Eşanjör Taşıma	0,0
Sarım	12,9
<b>Toplam</b>	<b>12,9</b>

Gruplandırma işlemleri incelendiğinde, önceki durumda uç işlem, gruplandırma 1 ve gruplandırma 2 işlemlerini toplamda 4 operatör yaparken son durumda 3 kişiye düşürülmüştür. Gruplandırma işlemleri ortaklaştırılarak karışıklıklar ortadan kaldırılmıştır. Önceki durumda 1 kişi uç işlem yapmakta iken iyileştirme sonrasında ise uç işlem makinesi 2'ye çıkarılarak operasyonlar 2 ayrı kişiye paylaştırılmıştır. Eski uç işlem makinesi revize edilip hızlandırılmış ve yeni bir tane daha sipariş verilmiştir. Eşanjör taşıma ve ters çevirme işçiliği ise yerleşme optimizasyonu yapılarak ortadan kaldırılmıştır.

**Tablo 3.36: Hat-1 - Üçüncü ve dördüncü operatör çalışma süreleri - sonra**

PROSES	Süre (s)
<b>Eşanjör Taşıma ve Ters Çevirme</b>	<b>0,0</b>
Uç işlem	15,2
Eşanjör Taşıma	0,0
Gruplandırma-1	11,0
<b>Toplam</b>	<b>26,2</b>

Son durumda 2 operatör uç işlem ve gruplandırma-1 işlemlerini yaparken 1 operatör de gruplandırma-2 işlemlerini yapmaktadır. Son durumda ortalama proses süreleri 3 operatör için de 13,1 saniye hesaplanmıştır.

**Tablo 3.37: Hat-1 - Beşinci operatör çalışma süreleri - sonra**

PROSES	Süre (s)
Gruplandırma-2	13,1
<b>Toplam</b>	<b>13,1</b>

Bu bölümde son işlem olan eşanjör form verme prosesinde operatör sayısında değişiklik yapılmamıştır. Büküm aparatları elden geçirilerek eskiyenler revize edilmiştir. Aparatların kolay takılıp sökülmesi sağlanarak proses süresinde ortalama 5,5 saniye iyileştirme yapılmıştır. Operasyonda 2 kişi çalıştığı için ortalama 13,05 saniyede 1 ürün üretilmektedir.

**Tablo 3.38: Hat-1 - Altıncı ve yedinci operatör çalışma süreleri - sonra**

PROSES	Süre (s)
Model Değişikliği	0,0
Eşanjör Taşıma ve Ters Çevirme	0,0
Eşanjör Form Verme	26,1
<b>Toplam</b>	<b>26,1</b>

Hat-1'e sonraki durum için proses sürelerine bakıldığında; üretim hattında çalışan toplam operatör sayısında bir değişiklik olmamıştır.

**Tablo 3.39: Hat-1 - Tüm operasyonların süresi ve çalışan sayıları - sonra**

Hat-1 Üretim Hattı	Sonra	
PROSES	Süre (s)	Çalışan Operatör Sayısı
Eşanjör Taşıma	0,0	1
Akış testi	11,0	
Eşanjör Taşıma	0,0	
Frekansiyel günlük form doldurma	2,0	
Eşanjör Taşıma	0,0	1
Sarım	12,9	
Eşanjör Taşıma ve Ters Çevirme	0,0	2
Uç işlem	15,2	
Eşanjör Taşıma	0,0	
Gruplandırma-1	10,9	
Gruplandırma-2	13,1	1
Model Değişikliği	0,0	2
Eşanjör Taşıma ve Ters Çevirme	0,0	
Eşanjör Form Verme	26,1	
<b>Toplam</b>	<b>91,2</b>	<b>7,0</b>
<b>Ortalama</b>	<b>13,0</b>	

Toplam operatör çalışma süreleri ise Tablo 3.39'dan incelendiğinde en büyük sürenin 13,1 saniye olduğu görülmektedir. Üretilen ürün miktarı hesaplandığında ise vardiyada;

$$3600 \times 9 / 13,1 = 2473 \text{ ad}$$

ürün üretilebileceği görülmektedir. Kahya (2015), yaptığı çalışmada kişisel dinlenme paylarını, ağır şartlar altında çalışma yapılmadığı için ortalama dinlenme payı kaynak işlemi hariç kadınlar ve erkekler için %5 olarak belirlemiştir. İncelemeler sonrası düşen süreler için +%5 ekleme yapıldığında yeni üretim miktarı;

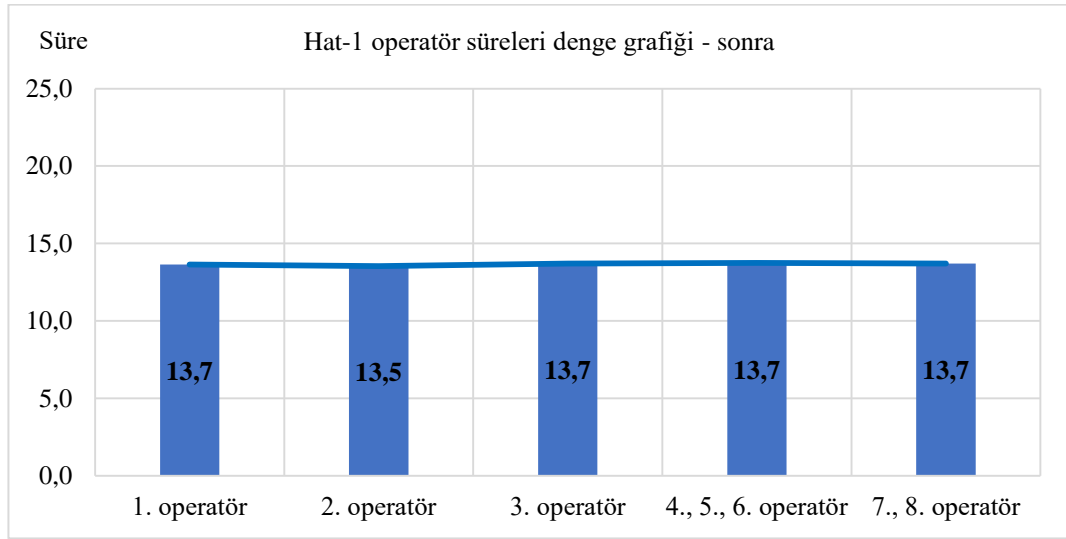
$$3600 \times 9 / (13,1 \times 1,05) = 3600 \times 9 / 13,7 = 2365 \text{ ad}$$

olarak hesaplanabilir. Önceki durumda takt süresi hesaplandığında üretilmesi gereken ürün miktarının günlük 2365 adet olması gerekmektedir. İyileştirme sonrası hedeflenen üretim adetine ulaşılabileceği görülmektedir. İyileştirme öncesi en büyük proses süresi ile hatta 820 adet ürün üretilebileceğini hesaplamıştır. Yeni süreler ile üretim kapasitesinin ilk duruma göre %65 arttığı görülmektedir.

**Tablo 3.40: Hat-1 - Operatörlerin toplam çalışma süreleri - sonra**

Operatör	Süre (s)	Dinlenme payı ile (s)
1. operatör	13,0	13,7
2. operatör	12,9	13,5
3., 4. operatör	13,1	13,7
5. operatör	13,1	13,7
6., 7. operatör	13,1	13,7

Son durumda yapılan iyileştirmeler ile operatörlerin çalışma sürelerinin eşitlenmesi sağlanmıştır. Bu durum Grafik 3.9'da gösterilmekte olup istendiği gibi, daha düz bir çizgi elde edilmiştir.

**Grafik 3.9:** Hat-1 operatör süreleri denge grafiği - sonra

Ara stok miktarları incelendiğinde; ana hatta olduğu gibi miktarlar düşürülerek hattaki yığın görüntüsü ortadan kaldırılmıştır. Belirlenen ara stok miktarları hatta operatörleri bilgilendirerek takip edilmiştir. Ana hattaki gibi operasyonlar arası stok miktarı maksimum 10 adettir(Tablo 3.41). Tüm işlemleri bitip arabalara istiflenen ürünler için hattaki maksimum araba sayısı 2 adet olarak yerleşim planında yer ayrılmıştır.

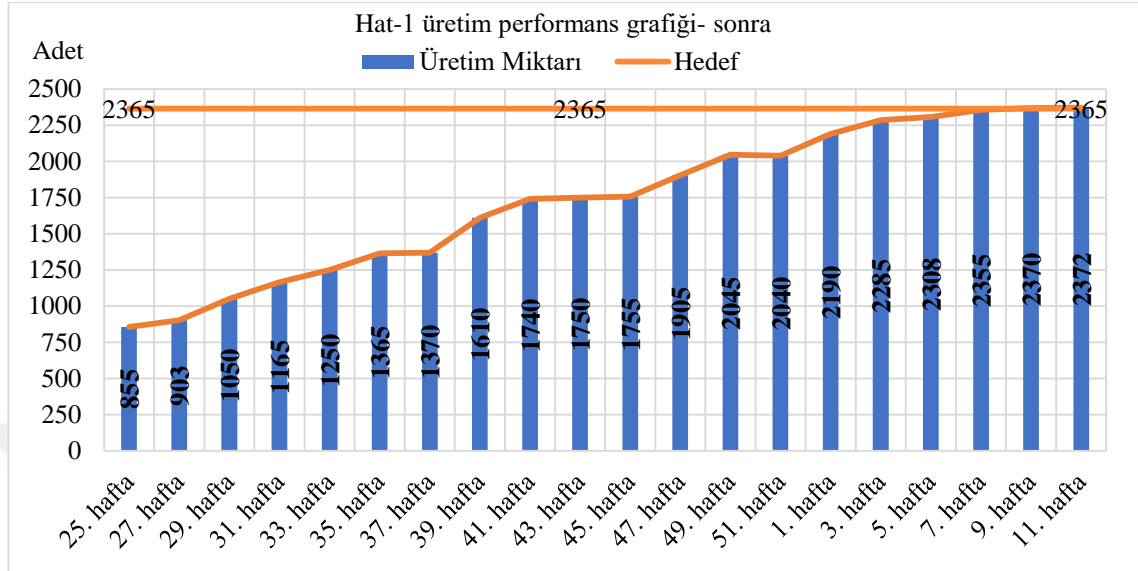
**Tablo 3.41: Hat-1 - Ara stok miktarları - sonra**

Operatör	Adet
1. operatör	10
2. operatör	10
3., 4. operatör	10 (5+5)
5. operatör	10 (5+5)
6., 7. operatör	80 (arabadaki maksimum sayı)

Üretim performansları incelendiğinde Grafik 3.10'da, 2020 yılı 25. haftası ile 2021 yılının 11. haftalar arası üretim adetleri gösterilmiştir. Veriler haftalık olarak takip edilmiştir, önceki durumda olduğu gibi grafiklerde görsel olarak kolay anlaşılabilmesi

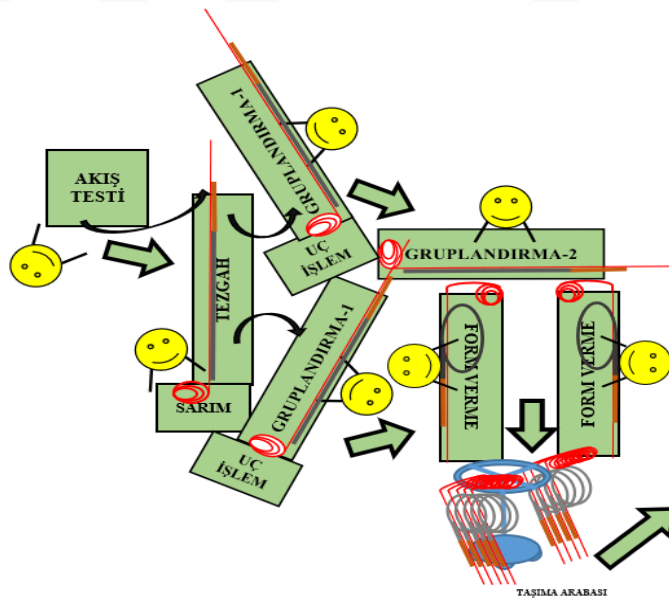
için 2 haftalık olarak verilmiştir. Üretim adetlerinin alınan aksiyonlarla birlikte artış gösterdiği görülmektedir. Son 4 haftada üretim adetleri verilen hedefe ulaşmıştır.

**Grafik 3.10.** Hat-1 üretim performans grafiği- sonra



En son durumda üretim hattının yerleşim planı ve ürün akışı Şekil 3.15'deki gibi son halini almıştır:

**Şekil 3.15:** Hat-1 üretim hattı yerleşim planı ve hat akışı - sonra



### 3.11.3. Hat-2 Üretim Hattı

Hat-2 için alınan aksiyonlar sayesinde diğer hattaki gibi iyileştirmeler gözlenmiştir. Birinci operatörü incelemek gerekirse; malzeme taşıma işlemi

kaldırılmıştır. Hat-2 operatörü kendi malzemesini alacak şekilde hat dengesine çalışılmıştır. Önceki durumda toplam 29 saniye olan proses süresi 21,5 saniyeye düşürülmüştür. Debi test cihazı hat-1'deki gibi yeni makine ile değiştirilmemiştir. Makine kapasitesi iyileştirilerek süresi kısaltılmış ve cihaza alarm takılarak testin durumu hakkında bilgi verir hale getirilmiştir. Testten geçen ürünler yeşil ışık eşliğinde pozitif bir sesle bildirilirken, testten geçmeyen ürünler kırmızı ışık eşliğinde hata sesi ile ayırt edilmektedir. Malzeme taşıma işlemi iptal edilmiş gibi görünmektedir. Taşıma işlemi kaldırılamamıştır; bu işlem makine test anındayken yapıldığı için ekstra bir süre harcanmadığı için yok sayılmıştır. Ek olarak; önceki durumda ikinci operasyon olarak verilen akış testi, hat dengeleme çalışmaları sonrası ilk operasyon olarak belirlenmiştir. Bunun yapılmasında iki amaç vardır; ilki malzemeler hatalı ise en başında tespit ederek müdahale etmek, ikincisi ise yerleşim planı hazırlarken malzemelerin test çevirme vb. hareketlerini azaltmak için en az hareketle proste akması hedeflenmiştir. En sonunda bu şekilde proses akışı uygun görülmüştür.

**Tablo 3.42: Hat-2 - Birinci operatör çalışma süreleri - sonra**

PROSES	Süre (s)
Eşanjör Taşıma	0,0
Akış testi	21,5
<b>Toplam</b>	<b>21,5</b>

İkinci operasyon uç işlem olarak sıralandırılmıştır. Burada önceki proses süresi 2,5 saniye iken 21,5 saniyeye düşüş yaşanmıştır. Burada makine daha önceden malzemelerin şekillerini istenen şekilde çıkarmadığı için problem yaşanmaktaydı. Makine bakıma gönderilerek eksiklikleri giderilmiştir. Bu sırada makinenin değiştirilen parçaları sayesinde ürün başına 1,5 saniye kadar makine performansında iyileşme görülmüştür.

Tablo 3.42'de verildiği gibi malzeme taşıma ve ters çevirme işlemi kaldırılmıştır. Bunun sebebi yerleşim planı optimizasyonudur. Sarım makinesi yanına uç işlemde kullanılan makineden bir adet daha alınarak eklenmiştir. Sarım prosesinin uç işlem sonrasına alınması ile de malzemelerin çevrilerek üretim yapılması kaldırılmıştır.

Proses ek olarak üretimde operatörlerin günlük doldurdukları formlar diğer hatlardaki gibi düzeltilerek yeni formlara üretim adetleri, üretilen modelleri, hatta oluşan arıza ve duruşların nedenleri ve sürelerinin yazıldığı bölümler eklenmiştir. Form her iki saatte bir kez doldurulmak üzere hat-2’de ikinci operatöre teslim edilmiştir. Süresi de Tablo 3.43’e eklenmiştir. Burada form doldurma süresinin uzun olmasının sebebi; üretilen bu modeller için müşterilerin istedikleri bazı ek formlar vardır. Bu sebeple süre uzamaktadır.

**Tablo 3.43: Hat-2 - İkinci operatör çalışma süreleri - sonra**

PROSES	Süre (s)
Eşanjör Taşıma ve Ters Çevirme	0,0
Uç İşlem	18,5
Frekansiyel günlük form doldurma (2 adet)	3,0
<b>Toplam</b>	<b>21,5</b>

Üçüncü operasyon, sarım işlemi olarak alınmıştır. İlk durumda toplam 32 saniye olan işlem süresi 21,5 saniyeye düşürülmüştür. Yerleşim düzenlemesi ile taşıma kaldırılmıştır. Sarımda ise, hat-1’de yapılan iyileştirme gibi makine otomatik sarım yapan bir makine ile değiştirilerek sürede iyileştirme yapılmıştır. Sarım işleminin hat-1’den uzun olmasının sebebi; bu üretim hattında üretilen modelin kılcal boru sarım sayısının fazla olmasıdır.

**Tablo 3.44: Hat-2 - Üçüncü operatör çalışma süreleri - sonra**

PROSES	Süre (s)
Eşanjör Taşıma	0,0
Sarım	21,4
<b>Toplam</b>	<b>21,4</b>

Önceki durumda gruplandırma-1 ve gruplandırma-2 işlemleri sırası ile 36,8 saniye ve 31 saniyede 2 operatör tarafından yapılırken, iyileştirmeler sonrası son durumda

iki operasyon toplamda 21,4 saniye ve 1 operatör çalışacak şekilde iyileştirilmiştir. Kayıpların büyük kısmının bu proseslerde yaşandığı gözlemlenmiştir. Çalışılan tezgahlara komponentlerin kolay takılmasını sağlamak amaçlı aparatlar eklenerek sabitlenmiştir. Kullanılacak bant, renkli kalem, sünger vb. gibi hammadde sarf malzemeler hat yanına raf yapıp yerleştirilerek sürekli dolu olması sağlanmıştır.

**Tablo 3.45: Hat-2 - Dördüncü operatör çalışma süreleri - sonra**

PROSES	Süre (s)
Eşanjör Taşıma	0,0
Gruplandırma-1	21,5
Eşanjör Taşıma	0,0
Gruplandırma-2	0,0
<b>Toplam</b>	<b>21,5</b>

Son proses için; büküm işleminin sonraki durumu incelendiğinde, ilk durumda 24 saniye olan büküm süresinin 21,4 saniye düştüğü görülmektedir. Burada 2,6 saniyelik bir iyileşme söz konusudur. Büküm aparatı çok eski değildir, aparata ek olarak büküm yapılan ölçüye ait tarafa bükümü kolaylaştıracak hareketli mekanizma takılarak bükümün daha kısa sürede ve kolay yapılması sağlanmıştır.

**Tablo 3.46: Hat-2 - Beşinci operatör çalışma süreleri - sonra**

PROSES	Süre (s)
Eşanjör Form Verme	21,4
<b>Toplam</b>	<b>21,4</b>

Hat-2'ye sonraki durum için tüm proses sürelerine bakıldığında Tablo 3.47'den görebileceği gibi en büyük proses süresi 21,5 s/ad'tir. Üretim hattında çalışan toplam operatör sayısı 6'dan 5'e düşürülerek 1 operatör azaltılmıştır.

**Tablo 3.47: Hat-2 - Tüm operasyonların süresi ve çalışan sayıları - sonra**

PROSES	Süre (s)	Çalışan Operatör Sayısı
Eşanjör Taşıma	0,0	1
Sarım	21,4	
Eşanjör Taşıma	0,0	1
Akış testi	21,5	
Eşanjör Taşıma ve Ters Çevirme	0,0	1
Uç İşlem	18,5	
Frekansiyel günlük form doldurma (2 adet)	3,0	
Eşanjör Taşıma	0,0	1
Gruplandırma-1	21,5	
Eşanjör Taşıma	0,0	
Gruplandırma-2	0,0	1
Eşanjör Form Verme	21,4	
<b>Toplam</b>	<b>107,3</b>	<b>5,0</b>
<b>Ortalama</b>	<b>21,5</b>	

Toplam operatör çalışma süreleri Tablo 3.48'den incelendiğinde en büyük süre olarak 21,5 saniye görülmektedir. Üretilcek ürün miktarı hesaplandığında ise vardiyada;

$$3600 \times 9 / 21,5 = 1507 \text{ ad}$$

ürün üretilebileceği görülmektedir. Kahya (2015), yaptığı çalışmada kişisel dinlenme paylarını, ağır şartlar altında çalışma yapılmadığı için ortalama dinlenme payı kaynak işlemi hariç kadınlar ve erkekler için %5 olarak belirlemiştir. İncelemeler sonrası düşen süreler için +%5 ekleme yapıldığında yeni üretim miktarı;

$$3600 \times 9 / (21,5 \times 1,05) = 3600 \times 9 / 22,6 = 1433 \text{ ad}$$

olarak hesaplanabilir. Önceki durumda takt süresi hesaplandığında üretilmesi gereken ürün miktarının günlük 1420 adet olması gerekmektedir. İyileştirme sonrası hedeflenen üretim adetine ulaşılacağı görülmektedir. İyileştirme öncesi en büyük proses süresi

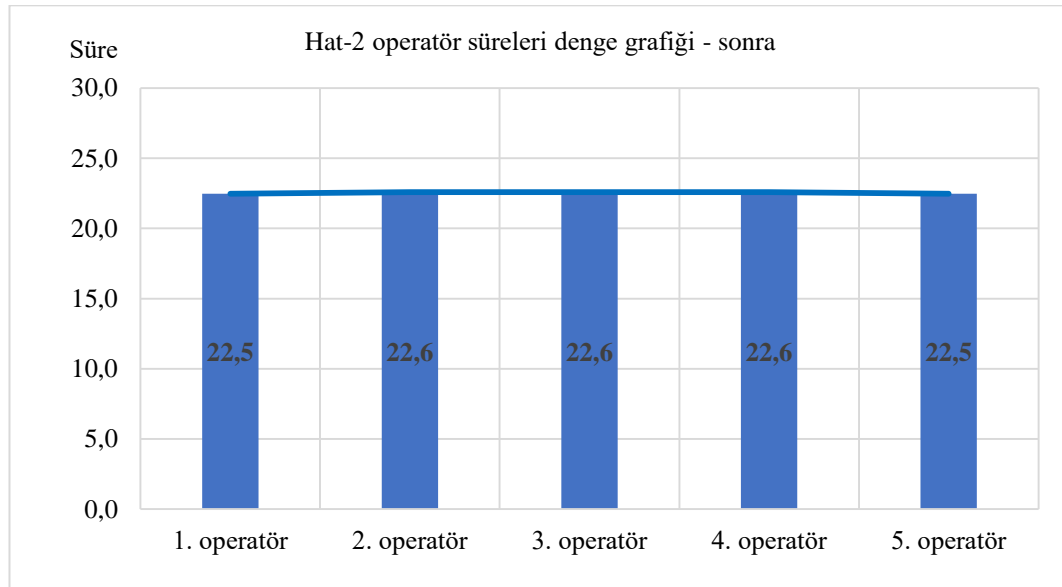
ile hatta 880 adet ürün üretilebileceğini hesaplamıştır. Yeni süreler ile üretim kapasitesinin ilk duruma göre %38 arttığı görülmektedir.

**Tablo 3.48: Hat-2 - Operatörlerin toplam çalışma süreleri - sonra**

Operatör	Süre (s)	Dinlenme payı ile (s)
1. operatör	21,4	22,5
2. operatör	21,5	22,6
3. operatör	21,5	22,6
4. operatör	21,5	22,6
5. operatör	21,4	22,5

Son durumda yapılan iyileştirmeler ile operatörlerin çalışma sürelerinin eşitlenmesi sağlanmıştır. Bu durum Grafik 3.11’de gösterilmekte olup istendiği gibi, daha düz bir çizgi elde edilmiştir.

**Grafik 3.11: Hat-2 operatör süreleri denge grafiği - sonra**

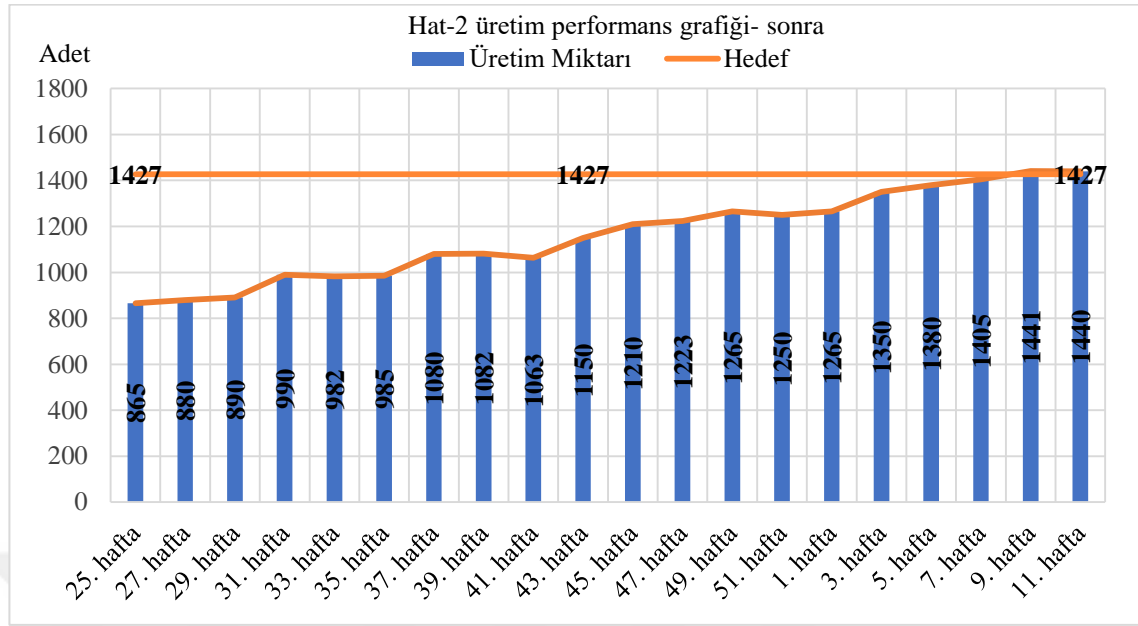


Ara stok miktarları incelendiğinde; diğer hatlarda olduğu gibi ara stok miktarları azaltılarak hattaki yığın görüntüsü ortadan kaldırılmıştır. Burada da belirlenen ara stok miktarları, hattaki operatörleri bilgilendirerek takip edilmiştir. Operasyonlar arası stok miktarı maksimum 5 adettir. Tüm işlemleri bitip arabalara istiflenen ürünler için hattaki maksimum araba sayısı 2 adet olarak yerleşim planında yer ayrılmıştır.

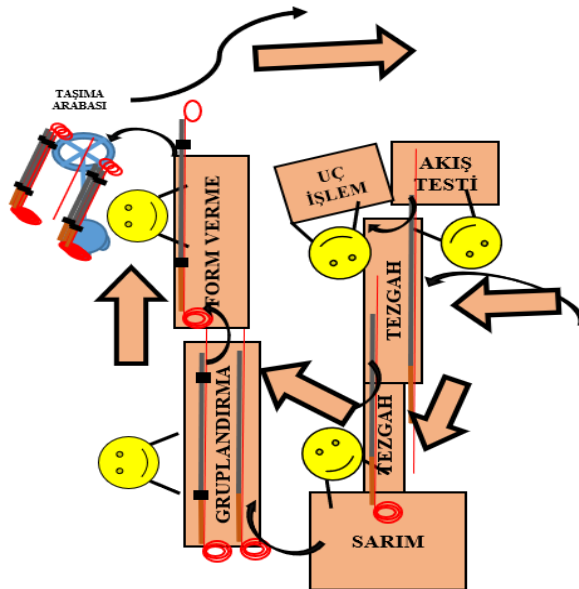
**Tablo 3.49: Hat-2 -Ara stok miktarları - sonra**

Operatör	Adet
Tezgah	50
1. operatör	5
2. operatör	5
3. operatör	5
4. operatör	5
5. operatör	80 (arabadaki maksimum sayı)

Üretim performansları incelendiğinde Grafik 3.12’de, 2020 yılı 25. haftası ile 2021 yılının 11. haftalar arası üretim adetleri gösterilmiştir. Veriler haftalık olarak takip edilmiştir, önceki durumda olduğu gibi grafiklerde görsel olarak kolay anlaşılabilmesi için 2 haftalık olarak verilmiştir. Üretim adetlerinin alınan aksiyonlarla birlikte artış gösterdiği görülmektedir. Son 4 haftada üretim adetleri verilen hedefe ulaşmıştır.

**Grafik 3.12:** Hat-2 üretim performans grafiği- sonra

Hat dengeleme sonrası hattın süreleri ile birlikte akışı da düzenlenmiştir. Tezgah ve masalar birbirlerine yaklaştırılıp daha kompakt bir yerleşim elde edilmiştir. Eskiyen ve deforme durumdaki masalar yenilenerek görselleştirilerek çalışma alanları iyileştirilmiştir. Ana hat Şekil 3.16'daki gibi son halini almıştır.

**Şekil 3.16:** Hat-2 üretim hattı yerleşim planı ve hat akışı - sonra

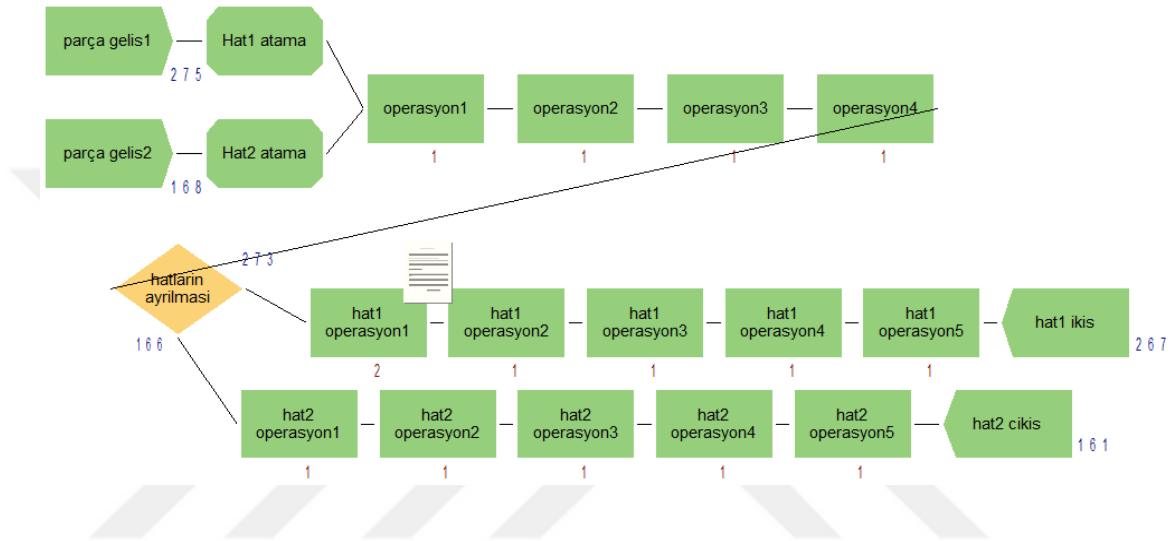
Tüm üretim hattının son yerleşim planını incelenmek istenirse; ilk duruma göre karışıklıkların azaldığı, malzemelerin neyin nerede üretildiği rahat bir şekilde takip edilen



### 3.12. Arena Simülasyon Sonraki Durum

Arena programında yapılan simülasyon için belirlenen tek varyasyon üzerinden çalışma yapılmıştır. Hatların karmaşık olması, çalışma alanının dar olması, makine ve işlem kısıtlarının olması sebebi ile sadece belirlenen hat dengeleme yöntemi simüle edilmiştir.

**Şekil 3.18:** Arena simülasyon sonucu - sonraki durum



Planlanan üretim akışı için yapılan simülasyon adetleri, hazırlanan çalışmadaki üretim adetleri ile örtüşmektedir. Simülasyon çalışmasında Şekil 3.18'deki gibi toplam 1 saat için toplam  $267 + 161 = 428 ad$ , gün sonunda ise  $428 \times 9 = 3832 ad$  ürün üretilbildiği görülmektedir. Reelde elde edilen üretim miktarı ile simülasyon sonucu elde edilen arasında %1 oranda fark vardır. Simülasyon sonucu ile yapılan çalışmaların örtüştüğü görülmektedir.



**DÖRDÜNCÜ BÖLÜM**  
**KAZANIMLAR VE DEĞERLENDİRMELER**

#### 4. KAZANIMLAR

Üretim hatlarını iyileştirme öncesi ve iyileştirme sonrası durum olarak incelenerek, aralarındaki proses süreleri ve operatör sayıları arasındaki farklılıklar yukarıdaki bölümlerde açıklamıştır. Özet olarak tüm bölümlerin kazanımlarını incelemek gerekirse aşağıdaki tablolardan yararlanılabilir.

Ana üretim hattında iyileştirme öncesi durumda süre dengesizlikleri ile birlikte karmaşık üretim hattı varken 5 operatör çalışmaktaydı. İyileştirmeler sonrası hatta yine 5 operatör çalışmaktadır. Süreler dengeye getirilerek katma değer olmayan işlerden hattı kurtararak, daha verimli çalışan bir üretim hattı düzenlenmiştir. Ortada fazla üretilip stok yapılan malzemeler, ekstra işçilikler ve düzensiz bir görünüm yoktur. İyileştirme çalışmaları yapılırken hat ve makineler yeniden boyanarak çalışma ortamı görsel olarak da iyileştirilmiştir. Yer çizgileri çekilerek bu alanda çalışacak makinelerin yerleri belirlenmiştir. Her şey yerli yerinde ve düzenlidir. Bu düzeni oluşturmak için 3 aylık bir termin süresi verilmiş ve 3 ayın sonunda da düzenin standart hale getirilmesi için 3 ay daha periyodik gözlemler ve kontrol listeleri ile üretim hatları takip edilmiştir. Herhangi bir düzensizlik durumunda, anında müdahale edilerek hat düzeni korunmuş ve standart hale getirilmiştir. Operatörler olması gerektiği gibi tarif edilen şekilde çalışmaktadırlar.

Ana hatta süre kazanımı hesaplanırken ilk adımda ürün başına kazanılan süre miktarı hesaplanmıştır. Ürün başına 18,3 saniye iyileştirme görünmektedir. Yıllık üretilmesi gereken ürün miktarı 1.000.000 adet olduğuna göre, süre kazanımı 5074 saat/yıl olmaktadır.

İşletmenin giderlerini hesaplamada kullandığı maliyet biriminin belirlediği miktarlar vardır. İşletmenin giderleri incelendiğinde bu değer yıllık ortalama olarak 2020 yılı için 40 TL/saat olarak, 2021 yılı için ise 65 TL/saat olarak hesaplanmaktadır. Bunun anlamı; 2021 yılında her saat birim çalışan başına 65 TL para harcanmaktadır. Bu değer tüm çalışanlar için işletmenin mali işler departmanı tarafından ortalama değer olarak hesaplanmıştır. Yukarıdaki bölümlerde 5074 saat olarak hesaplanan kazanım miktarı, paraya dönüştürüldüğü zaman; 2021 yılı için;

$$5.074,1 \times 65 = 329.814,8 \text{ TL}$$

yıllık kazanım elde edildiği hesaplanabilir. Bunun anlamı ise; kazanılan 5074 saati yıllık getirisi 329.815 TL'dir. 2021 yılında iyileştirmeler tamamlandığı ve tüm yıl için iyileştirmenin getirisi olacağı için 2021 yılı üzerinden hesaplama yapılmıştır. Bu değer

2022 yılı için hesaplanılmak istendiğinde; bütün parametreler sabit olmak koşulu ile işletmenin belirlediği gider miktarı hesaplanarak yapılabilir. Bu para direkt olarak ele geçen bir kazanım değildir. İyileştirmeler yapıp tamamlandıktan sonra, zamanla üretimde görülen üretim artışı ve verimliliklerin yansması olarak ciroya yansır. Otomasyon olmadan aynı adam sayısı ve aynı çalışma düzeni ile daha fazla miktarda ürün üretilebilmesi pozitif olarak yansıyacaktı. Sonuç olarak Tablo 4.1’de toplam kazanım olarak verilen 329.814,8 TL sadece 2021 yılı için hesaplanan kazanım miktarıdır.

**Tablo 4.1: Ana üretim hattı kazanım özet tablosu**

Ana Üretim Hattı	Önce		Sonra	
	Süre (s)	Çalışan Operatör Sayısı	Süre (s)	Çalışan Operatör Sayısı
Alüminyum Boru Kesim Model Değişikliği	1,1		0,0	
Makaron Takma	9,5	1	6,0	1
Alüminyum Boru Uç Form Verme	6,0		2,0	
Alüminyum Boru Taşıma	0,7		0,0	
Bakır Adaptör Taşıma	0,5		0,0	
Kaynak Yapma	15,0	1	14,7	2
Frekansiyel günlük form doldurma	0,0		1,5	
Kılcal Boru Taşıma	1,8		0,0	
Boru Takma	10,8	1	8,1	1
Model Değişikliği	0,3		0,0	
Makaron Büzdürme	13,0	2	8,1	1
<b>Toplam</b>	<b>58,6</b>	<b>5,0</b>	<b>40,4</b>	<b>5,0</b>
<b>Ortalama</b>	<b>11,7</b>		<b>8,1</b>	
<b>Süre kazanımı (saat)</b>		<b>5.074,1</b>	<b>h/yıl</b>	
<b>Süre kazanımı (TL)</b>		<b>329.814,8</b>	<b>TL/yıl</b>	
<b>Operatör kazanımı (çalışan sayısı)</b>		<b>0</b>	<b>opt/yıl</b>	
<b>Operatör kazanımı (TL)</b>		<b>0</b>	<b>TL/yıl</b>	
<b>Toplam Kazanım</b>		<b>329.814,8</b>	<b>TL/yıl</b>	

Yapılan çalışmadan hat-1 üretim hattı için toplamda üretilmesi gereken ürün miktarı 625.000 ad/yıl olarak görülmektedir. Kazanım miktarını hesaplamak gerekirse; ürün başına 104,9 saniye iyileşme olacağı görülmektedir. Yıllık kazanım saat bazında 18.206,6 saat/yıl hesaplanmaktadır. Bunun ciroya yansıtacak karşılığı 2021 yılı için 65 TL ile çarpıldığında;

$$18.206,6 \times 65 = 1.183.428,8 \text{ TL}$$

olarak hesaplanmaktadır. Hatta çalışan operatör sayısına bakıldığında; ilk duruma göre 1 operatör daha az çalışmaktadır. Üretimde çalışan operatör sayısının 8 kişiden 7 kişiye düştüğü görülmüştür ve bunun kazanımı hesaplanarak tabloya eklenmiştir. 1 operatörün işletmeye yıllık maliyeti asgari ücret üzerinden 2021 yılı için 42.930 TL'dir. Operatör kazanımı ile ilgili bölümde Tablo 4.2'deki gibi toplam kazanım;

$$1.183.428,8 + 42.930 = 1.226.358,8 \text{ TL}$$

olarak hesaplanmaktadır.

**Tablo 4.2: Hat-1 kazanım özet tablosu**

Hat-1 Üretim Hattı	Önce		Sonra	
	Süre (s)	Çalışan Operatör Sayısı	Süre (s)	Çalışan Operatör Sayısı
PROSES				
Eşanjör Taşıma	4,0		0,0	
Akış testi	25,0	1	11,0	1
Eşanjör Taşıma	4,0		0,0	
Frekansiyel günlük form doldurma	0,0		2,0	
Eşanjör Taşıma	4,0	1	0,0	1
Sarım	28,0		12,9	
Eşanjör Taşıma ve Ters Çevirme	4,5	1	0,0	
Uç işlem	35,0		15,2	2
Eşanjör Taşıma	4,0		0,0	
Gruplandırma-1	19,5	3	10,9	
Gruplandırma-2	30,0		13,1	1
Model Değişikliği	0,4		0,0	
Eşanjör Taşıma ve Ters Çevirme	6,0	2	0,0	2
Eşanjör Form Verme	31,7		26,1	
<b>Toplam</b>	<b>196,1</b>	<b>8,0</b>	<b>91,2</b>	<b>7,0</b>
<b>Ortalama</b>	<b>24,5</b>		<b>13,0</b>	
<b>Süre kazanımı (saat)</b>		<b>18.206,6</b>	<b>h/yıl</b>	
<b>Süre kazanımı (TL)</b>		<b>1.183.428,8</b>	<b>TL/yıl</b>	
<b>Operatör kazanımı (çalışan sayısı)</b>		<b>1,0</b>	<b>opt/yıl</b>	
<b>Operatör kazanımı (TL)</b>		<b>42.930</b>	<b>TL/yıl</b>	
<b>Toplam Kazanım</b>		<b>1.226.358,8</b>	<b>TL/yıl</b>	

Hat-2 üretim hattı için toplam üretilmesi gereken ürün miktarı önceki bölümlerde 375.000 ad/yıl olarak verilmiştir. Kazanım hesaplandığında; ürün başına 70

saniye iyileşme olacağı görülmektedir. Yıllık kazanım saat bazında 7.292,7 saat/yıl hesaplanmaktadır. Bunun ciroya yansiyacak karşılığı 65 TL ile çarpıldığında;

$$7.292,7 \times 65 = 404.026 \text{ TL}$$

olarak hesaplanmaktadır. Hatta çalışan operatör sayısına bakıldığında; ilk duruma göre 1 operatör daha az çalışma düzeni mevcuttur. Üretimde operatör sayısı 6 kişiden 5 kişiye düşürülmüştür, bunun kazanımı hesaplanarak tabloya eklenmiştir. 1 operatörün işletmeye yıllık maliyeti ise 2021 yılı asgari ücret üzerinden 42.930 TL olarak alınmıştır. Son durumda operatör kazanımı ile Tablo 4.3'de özeti verilen tablodaki gibi toplam kazanım;

$$474.026,0 + 42.930 = 516.956,0 \text{ TL}$$

olarak hesaplanmaktadır.



**Tablo 4.3: Hat-2 kazanım özet tablosu**

Hat-2 Üretim Hattı	Önce		Sonra	
PROSES	Süre (s)	Çalışan Operatör Sayısı	Süre (s)	Çalışan Operatör Sayısı
Eşanjör Taşıma	4,0	1	0,0	1
Sarım	28,0		21,4	
Eşanjör Taşıma	4,0	1	0,0	1
Akış testi	25,0		21,5	
Eşanjör Taşıma ve Ters Çevirme	4,5	1	0,0	1
Uç İşlem	20,0		18,5	
Frekansiyel günlük form doldurma (2 adet)	0,0		3,0	
Eşanjör Taşıma	4,0	1	0,0	1
Gruplandırma-1	32,8		21,5	
Eşanjör Taşıma	4,0	1	0,0	1
Gruplandırma-2	27,0		0,0	
Eşanjör Form Verme	24,0	1	21,4	1
<b>Toplam</b>	<b>177,3</b>	<b>6,0</b>	<b>107,3</b>	<b>5,0</b>
<b>Ortalama</b>	<b>29,6</b>		<b>21,5</b>	
<b>Süre kazanımı (saat)</b>		<b>7.292,7</b>	<b>h/yıl</b>	
<b>Süre kazanımı (TL)</b>		<b>474.026,0</b>	<b>TL/yıl</b>	
<b>Operatör kazanımı (çalışan sayısı)</b>		<b>1,0</b>	<b>opt/yıl</b>	
<b>Operatör kazanımı (TL)</b>		<b>42.930</b>	<b>TL/yıl</b>	
<b>Toplam Kazanım</b>		<b>516.956,0</b>	<b>TL/yıl</b>	

İlerleyen yıllar için aynı parametrelerle çalışma yapılırsa, müşterilerden gelen sipariş miktarına bağlı olarak bu kazanım miktarlarında değişimler olabilir.

Üç hatta yapılan çalışmalar sonrası özet olarak tüm kazanımlar Tablo 4.4'ten incelendiğinde; toplam kazanım kısmında 2 operatör kazanımı olduğu görülmektedir. Yıllık operatör kazanımı 85.860 TL olarak Tablo 4.4'e eklenmiştir. Toplam süre kazanımı saat bazında 30.573,4 saat/yıl'dır. Bu saat kazanımının para karşılığı 1.987.269,7 TL olarak hesaplanmaktadır. İyileştirmeler sonrası kazanım olarak hesaplanan saat miktarının ve operatör kazanımlarının ciroya yansıdığı toplam miktar ise 2.073.129,7 TL olarak hesaplandığı görülmektedir.

Bu çalışma 2022 yılı içerisinde yapılmış olsaydı; aynı parametreler, aynı sipariş miktarları, üretim hattında aynı sayıda çalışan operatör ile, asgari ücret aylık 5.004 TL olarak alındığı takdirde, 2 kişi operatör kazanımı 120.096 TL/yıl olarak yansiyacaktı. Bu değer yıllık olarak enflasyon oranı ile değişmektedir.

**Tablo 4.4: Kazanım tablosu**

Tüm kazanımlar	Operatör Kazanımı	Süre Kazanımı (h/yıl)	Operatör Kazanımı (TL/yıl)	Süre Kazanımı (TL/yıl)	Toplam (TL/yıl)
Ana Üretim Hattı	0	5.074,1	0	329.814,8	
Hat-1 Üretim Hattı	1,0	18.206,6	42.930	1.183.428,8	2.073.129,7
Hat-2 Üretim Hattı	1,0	7.292,7	42.930	474.026,0	
<b>Toplam</b>	<b>2,0</b>	<b>30.573,4</b>	<b>85.860</b>	<b>1.987.269,7</b>	

## SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Günümüzde üretim yapan işletmeler birbirleri arasında sıkı rekabet içerisinde. Benzer sektörlerde faaliyet gösteren işletmeler ise kalite ve maliyet faktörleri açısından daha fazla rakip olmuş durumdadırlar. Kalite ve maliyet faktörleri yanında hızlı reaksiyon verebilme de önemlidir. İşletmelerin artan maliyetler, rekabet içerisindeki işverenler ve rekabet edilebilir ürün fiyatları karşısında güçlü kalabilmeleri için kar etmeleri gerekmektedir. Kar edebilmenin yolu kaliteden ödün vermeden verimlilikleri artırıp maliyetleri düşürmekten geçer. Verimlilikleri artırmak için işletmenin uyguladığı bazı uygulamalar ve teknikler vardır. Bu tekniklerin biri olan hat dengeleme metodu bu çalışmada uygulanmıştır.

Hat dengeleme çalışmaları için üzerinde çalışan eşanjör hattında, iyileştirmeler öncesi ve sonrası durumlar incelendiğinde; son durumda önceki duruma göre verimlilik artışı gözlenmiştir. İlk durumda düzensiz ve karışık bir üretim hattı varken, son durumda görsel fabrika olarak hitap eden, her şeyin yeri belli olan yerli yerinde düzenli bir hat haline getirilmiştir. Operatörlerin nasıl çalışması gerektiği, standart süreler ve iş sırası standart iş tablosu halinde yaptıkları işlerle görselleştirilerek, hatlarda operatörlerin kolayca ulaşabileceği yerlere konumlandırılmıştır. İyileştirme sonrası operatörlerin daha dikkatli çalıştığı gözlenmiştir. İyileştirme ve hat dengeleme sonrası prosesler arası süre farkı olmadığı için bekleme veya acele ile iş yetiştirme gibi durumlar ortadan kalkmıştır. Önceden malzeme stoğu yapıp üretimde yığın oluşturma durumları, hat dengeleme sonrası tekrarlanmamıştır. Dar boğaz noktaları kaldırılarak, ürünler hedeflendiği gibi belirlenen adetlerde üretilebilir hale gelmiştir.

İyileştirmeler sonrası üretim hattında toplam çevrim sürelerinde; ana hatta %31,2 oranında, hat-1'de %53,5 oranında, hat-2'de %39,5 oranında iyileştirme yapıldığı görülmektedir Üç hatta toplam süreler bakıldığında genel ortalama %44,7 iyileştirme olmuştur.

Çalışan sayılarına bakıldığında; çalışmanın başında üç hatta toplam 19 operatör çalışırken, çalışmanın sonunda çalışan operatör sayısı 17 olarak güncellenmiştir. Oran olarak bakıldığında, %10,5 iyileştirme olarak hesaplanmıştır.

Üretim adetleri incelendiğinde; iyileştirmeler sonrası son dört haftada üretilen ortalama üretim miktarları ana hatta 3740 ile %49, hat-1 üretim hattında 2351 ile %68,

hat-2 üretim hattında 1417 ile %37; genel olarak üç hatta ortalama olarak %47 oranında artış göstermiştir.

Hat dengeleme çalışmasında bu çalışma için genel olarak toplam çevrim sürelerinde minimum %30 oranında iyileştirme hedeflenmiştir. Çalışmanın sonunda %44,7 oranında iyileşme elde edilerek verilen hedefler gerçekleştirilmiştir.

Hat düzeni incelendiğinde, ilk durumda geniş bir alanda dağınık bir çalışma düzeni mevcutken; son durumda düzenli ve akışa göre dizilmiş, ergonomik hale getirilmiş yerleşim planı oluşturulmuştur.

Hat dengeleme sonrası eşanjör hattında yapılan çalışmalarla, iyileştirme yapılmayan hatlar da olumlu yönde etkilenecek, diğer üretim hatlarında verimlilik artışı gözlenmiştir.

Yapılan çalışmalar ile üretilen ürünlerin kalitesinde artış gözlenerek hatalı üretim, eksik yapılmış ürün vb. durumlar ortadan kalkmıştır. Fazla mesai durumları elimine edilerek, hattan alınan operatörler diğer üretim hatlarına geçirilerek değerlendirilmiştir.

Makinelere yapılan iyileştirmeler ile diğer hatlardaki benzer makinelere de revizyonlar yapılarak, işletmedeki üretimde takip edilen genel verimliliklerde artış gözlenmiştir.

Kazanımlar tablosunda verilen bilgilerde; hattın çalışma koşulları ve kazanılan süre miktarı aynı olduğu düşünülerek operatör kazanımında elde edilen miktar (TL), açıklanan yıllık enflasyon oranı ile birlikte, belirlenen asgari ücret üzerinden değişmektedir. Aynı şekilde, kazanılan süreler ve çalışma koşullarının aynı olduğu düşünülerek işletme giderlerindeki değişimler hesaplanıp güncellenerek, gelecek yıllar içinde elde edilen kazanım miktarı yeniden hesaplanabilmektedir.



**EKLER**

ZAMAN ETÜDÜ FORMU														TARİH	SAYFA NO					
KULLANILAN MALZEMELER																				
TACT TIME																				
ÜRÜN ADI																				
STOK NO																				
BİRİM ADI																				
ÖLÇÜMLER																				
İŞLEM NO	OPERATÖR	İŞLEM ADI	DETAY İŞLEM ADI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	adet	ORTALAMA SÜRE (sn)	TEMPO DEĞERİ	KİŞİSEL DİNLENME PAYI	STANDART SÜRE (sn)	toplam
1	OP															#SAYI/01	100	0,05	#SAYI/01	#SAYI/01
2	OP															#SAYI/01	100	0,05	#SAYI/01	#SAYI/01
3	OP															#SAYI/01	100	0,05	#SAYI/01	#SAYI/01
4	OP															#SAYI/01	100	0,05	#SAYI/01	#SAYI/01
5	OP															#SAYI/01	100	0,05	#SAYI/01	#SAYI/01
6	OP															#SAYI/01	100	0,05	#SAYI/01	#SAYI/01
7	OP															#SAYI/01	100	0,05	#SAYI/01	#SAYI/01
8	OP															#SAYI/01	100	0,05	#SAYI/01	#SAYI/01
9	OP															#SAYI/01	100	0,05	#SAYI/01	#SAYI/01
10	OP															#SAYI/01	100	0,05	#SAYI/01	#SAYI/01
1	OP															#SAYI/01	100	0,05	#SAYI/01	#SAYI/01
2	OP															#SAYI/01	100	0,05	#SAYI/01	#SAYI/01
3	OP															#SAYI/01	100	0,05	#SAYI/01	#SAYI/01
4	OP															#SAYI/01	100	0,05	#SAYI/01	#SAYI/01
5	OP															#SAYI/01	100	0,05	#SAYI/01	#SAYI/01
6	OP															#SAYI/01	100	0,05	#SAYI/01	#SAYI/01
7	OP															#SAYI/01	100	0,05	#SAYI/01	#SAYI/01
8	OP															#SAYI/01	100	0,05	#SAYI/01	#SAYI/01
9	OP															#SAYI/01	100	0,05	#SAYI/01	#SAYI/01
10	OP															#SAYI/01	100	0,05	#SAYI/01	#SAYI/01

## KAYNAKÇA

- Acar, N., Eştaş, S. (1991). *Kesikli Seri Üretim Sistemlerinde Planlama Ve Kontrol Çalışmaları* (3 Baskı). Ankara: Milli Productivite Merkezi Yayınları.
- Adnan, A. N., Arbaai, N. A., Ismail, A. (2016). Improvement Of Overall Efficiency Of Production Line By Using Line Balancing. *ARN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(12), 7752-7758.
- Akın, N. G. (2015). Kanep Montaj Hattının Dengelenmesi ve Benzetim Yöntemi İle Sınanması. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5(1), 95-120.
- Ariyanti, S., Azhar, M.R., Lubis, M.S.Y. (2020). Assembly Line Balancing With The Yamazumi Method. *IOP Conf Series. Materials Science And Engineering*, 1007(1), 1-8.
- Arslankaya, S., Duran, E. (2019). Jeneratör Üreten Bir Firmada Kabin Kaynak Hattının Simülasyon İle İyileştirme Çalışması. *4th International Symposium on Innovative Approaches in Engineering and Natural Sciences*, 4(6), 22-24.
- Aydın, M., Yaşar, M., Gavas, M., Altunpak, Y. (2012). *Üretim Yöntemleri ve İmalat Teknolojileri* (2. Baskı). Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Bayraktaroğlu, A. E. (2007). *Basit U-Tipi Montaj Hattı Dengelemede Analitik Yöntemlerin Karşılaştırılması* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği, İstanbul.
- Bilget, S. (2015). *Konfeksiyonda Simülasyon Tekniğiyle Yalın Üretim Sistemlerinin İncelenmesi* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Çengel, Y., A., Boles, M. A. (2008). *Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik* (5. Baskı). İzmir: No-bel Matbaacılık.
- Çengel, Y., A., Boles, M. A. (2011). *Thermodynamics Engineering Approach* (7. Edition). New York: Mc Graw Hill.
- Demirbaş, Z. A. (2019). *Üretim Hat Dengelemesinde Konfeksiyon Sektöründe Uygun Algoritmaların İncelenmesi* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.

- Doğruer, İ., M. (2014). *İş Etüdü* (2. Baskı). İstanbul: Açılım kitap.
- Engin, T. (1996). *Montaj Hattı Dengeleme Ve Otomotiv Endüstrisi Uygulaması* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği, İstanbul.
- Erdem, M. S., Tüzemen, Ş., Hastürk, E., Kaygusuzer, R. Ö., Topal, T. (2013, 12-15 Eylül). *Yan Sanayi İşletmesinde Yalın Felsefe Uygulamaları; 5S, Hat Dengeleme* [Sözlü bildiri]. International Smes Conference, Cnr Expo Center, İstanbul.
- Erozan, İ., Müminoğlu, M. (2020). Bir Otomobil Yan Sanayi Tedarikçisinde Dünya Klasında Üretim Uygulaması. *Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 31(3), 251-266.
- Fisel, J., Exner, Y., Stricker, N. ve Lanza, G. (2019). Changeability And Flexibility Of Assembly Line Balancing As A Multi-Objective Optimization Problem. *Journal of Manufacturing Systems*, 53(0), 150-158.
- Genceli, O. F., Parmaksızoğlu, C. (2016). *Kalorifer Tesisatı*, TMMOB Makine Mühendisleri Odası. İstanbul: Miem yayınevi.
- Gökçen, H., Ağpak, K. (2004). Hat Dengelemede Yeni Bir Felsefe Paralel Montaj Hatlarının Eşzamanlı Dengelenmesi. *Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Teknoloji Dergisi*, 7(1), 181-188.
- Gökçen, H., Ağpak, K., Oğuz, E. (2002). Servis Sistemlerinde Hat Dengeleme. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1), 123-130.
- Günay, K., Çetin, T., Baykoç Ö. F. (2004). Montaj Hattı Dengelemede Geleneksel ve U Tipi Hatların Karşılaştırılması ve Bir Uygulama Çalışması, *Teknoloji Dergisi*, 7(3), 350-354.
- Güner, B., Hasgül, S. (2012). Sürdürülebilir Denge İçin Ergonomik Faktörleri İçeren U-Tipi Montaj Hattı Dengelemesi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 27(2), 407-415.
- Hıdımoğlu, M. B. (2019). *Montaj hattında kapasite dengeleme ve verimlilik analizi* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Incropera, F. P., DeWitt, D. P. (2006). *Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri* (4. Baskı). İstanbul: Literatür Yayınları.
- Jayawickrama, H.M.M.M., Samarasena, S., Kulatunga, A.K. (2014, 7-9 January). *Process Visualization Of A Manufacturing Plant Based On Lean Concept* [Sözlü bildiri]. Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bali, Indonesia.
- Kahya, E., (2015). *İş Etüdü*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi (1.Baskı). Eskişehir: Özkağıtçılık Matbaacılık.
- Kahya, E., Şahin, B. H., Daşdelen, E., Doğru, S. (2018). Ergonomik Risk Kısıtları Altında Yeni Bir Montaj Hattı Dengeleme Modeli Geliştirilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(0), 49-57.
- Kaymaz, E. (2017). Montaj Hattı Dengelemede Yeniden İşleme İstasyonlarının Paralel Görevler İçin Kullanılması Ve Bir Uygulama. *Politeknik Dergisi*, 25(1), 205-222.
- Keskin, M. S., Kejanlı, H., Bingöl, S. (2019). Farklı Alüminyum Alaşımların Difüzyon Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(1), 204-206.
- Krajewski, L., Ritzman, L. P., Malhotra, M. K. (2014). *Üretim Yönetimi* (9. Baskı). Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Kuğu, S., Köse, R., (2021) “Isı Değiştirici Üretim Hattında Değer Akış Haritalama Uygulamasının Etkileri”, *Kırklareli University Journal Of Engineering And Science*, 7(1), 135-146.
- Kumar, R. N., Mohan, R., Gobinath, N. (2021). Improvement in Production Line Efficiency Of Hemming Unit Using Line Balancing Techniques. *Materials Today: Proceedings*, 46(2), 1459-1463.
- Küçükkoç, İ. (2022, 17 Şubat). *Montaj Hattı Tasarımı ve Analizi*, Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Balıkesir. Erişim adresi: <http://ikucukkoc.baun.edu.tr/>
- Onat., K., Genceli, O. F., Arısoy, A. (1998). *Buhar Kazanlarının Isıl Hesapları* (3. Baskı). İstanbul: Birsen yayınevi.

- Orbak, A. Y., Cengiz, T. G., Ulusoy, İ., Akgöz, H. K., Kiriş, M., İrice, G. (2009). Bir otomotiv yan sanayi firmasında tek modelli ve karışık modelli montaj hattı dengeleme problemi. *Uludağ Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 22(1), 21-30.
- Orbak, A.Y., Özalp, B.T., Korkmaz, P., Yarkın, N., Aktaş, N., Dinçer, A. (2009, 22-24 Haziran). *Karışık Modelli Bir Montaj Hattında Hat Dengeleme Çalışmaları* [Sözlü bildiri]. Yöneylem Araştırması Ve Endüstri Mühendisliği 29. Ulusal Kongresi, Bilkent Üniversitesi, Ankara.
- Özcan, B., Yıldırak, E. (2020). A Simulation Study on a Production System. *Aksaray University Journal of Science and Engineering*, 4(2), 172-186.
- Özgen, T. (2016). *Gömlek Üretiminde Optimum Hat Dengeleme Yönteminin Araştırılması* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Özhan, S. (1999). Örme Konfeksiyon Sektöründe GSD Yöntemi Yardımıyla Üretim Öncesi Sürelerin Belirlenmesi Ve Bant Dengelemenin Yapılması. *Tekstil ve Mühendis Dergisi*, 24(106), 78-87.
- Özkol, N. (2004). *Uygulamalı Soğutma Tekniği*. TMMOB Makine Mühendisleri Odası (6. Baskı). Ankara: Özkan Matbaacılık.
- Rother, M., Harris, R. (2001). *Sürekli Akış Yaratmak* (Versiyon 1.0). Usa: The Lean Enterprise Institute.
- Rother, M., Shook, J. (1999). *Görmeyi Öğrenmek* (Versiyon 1.2). Usa: The Lean Enterprise Institute.
- Sabadka, D., Molnár, V., Fedorko, G., Jachowicz, T. (2017). Optimization Of Production Processes Using The Yamazumi Method. *Advances In Science And Technology Research Journal*, 11(4), 175-182.
- Scholl, A., Becker, C. (2006). A Survey on Problems and Methods in Generalized Assembly Line Balancing. *European Journal of Operational Research*, 168(3), 694-715.
- Shah, R. K., Sekulić D.P. (2003). *Fundamentals Of Heat Exchanger Design*. Canada: John Wiley and Sons Inc.

- Tanyaş, M., Baskak, M. (2013). *Üretim Planlama ve Kontrol* (5. Baskı). İstanbul: İrfan Yayıncılık Alioğlu Matbaacılık.
- Yamankaradeniz, R., Horuz, İ., Kaynaklı, Ö., Çoşkun, S., Yamankaradeniz, N. (2013). *Soğutma Tekniği ve Isı Pompası Uygulamaları* (3. Baskı). Bursa: Dora Yayınları.
- Yıldız, A. (2010). *Benzetim Modellemesi İle Üretim Sistemlerinde Süreç Optimizasyonu ve Bir Uygulama Çalışması* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri Anabilim Dalı Ekonometri Programı, Aydın.



## DİZİN

**-A-**

Ara stok, 45, 50, 63, 67, 81, 106, 111, 118

Arena, 17, 19, 21, 45, 46, 83, 84, 85, 122

**-B-**

Benzetim, 45, 135, 139

**-Ç-**

Çevrim süresi, 19, 40, 46

**-D-**

Difüzyon kaynağı, 31, 32, 34, 51

**-E-**

Eşanjör, 48, 53, 58, 70, 71, 72, 73, 74, 77, 78, 79, 80, 106, 107, 108, 109, 114, 115, 116, 117, 121, 127, 129

**-F-**

Form verme, 78, 86, 87, 95, 98, 108

**-G-**

Gruplandırma, 56, 72, 74, 78, 79, 80, 91, 94, 95, 107, 108, 109, 115, 116, 117, 127, 129

**-H-**

Hat dengeleme, 17, 19, 20, 21, 22, 37, 38, 41, 44, 45, 46, 48, 49, 60, 69, 85, 113, 122, 131

**-I-**

Isı değiştirici, 17, 25, 26, 27, 48, 50, 51, 52, 58

Isı geçişi, 25, 26, 29

**-İ-**

İsraf, 36, 47

İşçilik, 23, 55

İyileştirme, 17, 20, 36, 98, 99, 100, 101, 106, 107, 108, 115, 124, 131, 132

**-K-**

Kaizen, 36, 48

Kanban, 36, 99, 100

**-M-**

Malzeme taşıma, 60, 77, 87, 88, 89, 90, 92, 94, 107, 113

Muda, 36

**-P-**

Proses, 58, 62, 63, 64, 65, 70, 71, 72, 73, 77, 78, 79, 99, 100, 101, 102, 125

**-S-**

Simülasyon, 17, 19, 20, 21, 45, 46, 83, 84, 85, 122

**-T-**

Takt süresi, 40, 46, 47, 49

Tek parça akışı, 19, 95, 106

Termin, 48, 49, 85, 86, 124

**-Ü-**

Üretim, 17, 19, 20, 36, 38, 39, 40, 41, 42, 48, 49, 54, 56, 59, 60, 61, 63, 65, 69, 73, 74, 76, 79, 98, 100, 102, 104, 106, 109, 111, 113, 116, 119, 124, 125, 127, 129, 130, 132, 135, 136, 137, 138, 139

**-Ü-**

Üretim hattı, 17, 41, 43, 48, 49, 50, 52, 53, 55, 57, 60, 83, 105, 113, 121, 124, 126, 128, 131

**-V-**

Verimlilik, 17, 19, 38, 41, 49, 55, 61, 98, 131, 132, 137

Verimsizlik, 55, 60, 63, 69, 71, 98

**-Y-**

Yalın üretim, 17, 36

Yamazumi, 19, 20, 21, 46, 47, 48, 59, 135, 139

Yerleşim planı, 42, 57, 105, 112, 113, 114, 132