

**ÜRETİM HAT DENGELMESİNDE  
KONFEKSİYON SEKTÖRÜNE UYGUN  
ALGORİTMALARIN İNCELENMESİ**

**Zeycan Aydan DEMİRBAŞ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Danışman: Doç. Dr. Can ÜNAL**

**2019**

**T.C.**  
**TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÜRETİM HAT DENGELMESİNDE KONFEKSİYON SEKTÖRÜNE UYGUN  
ALGORİTMALARIN İNCELENMESİ**

**Zeycan Aydan DEMİRBAŞ**

**TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN: Doç. Dr. Can ÜNAL**

**TEKİRDAĞ-2019**

**Her hakkı saklıdır**

Doç. Dr. Can ÜNAL danışmanlığında, Zeycan Aydan DEMİRBAŞ tarafından hazırlanan “Üretim Hat Dengelemesinde Konfeksiyon Sektörüne Uygun Algoritmaların İncelenmesi” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Kemal Güven GÜLEN

*İmza:*

Üye : Doç. Dr. Can ÜNAL

*İmza:*

Üye : Doç. Dr. Gülseren KARABAY

*İmza:*

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Doç. Dr. Bahar UYMAZ

Enstitü Müdürü

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ÜRETİM HAT DENGELEMESİNDE KONFEKSİYON SEKTÖRÜNE UYGUN ALGORİTMALARIN İNCELENMESİ

**Zeycan Aydan DEMİRBAŞ**

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Can ÜNAL

Bu çalışmada endüstri mühendisliğinde geliştirilmiş olan 8 farklı sezgisel hat dengeleme algoritması ile konfeksiyon sektöründe sıklıkla kullanılan 2 sezgisel hat dengeleme algoritması incelenmiş ve konfeksiyon sektörü için en uygun olan yöntem belirlenmeye çalışılmıştır. İki farklı hazır giyim işletmesinde üretilen klasik erkek gömleği ve denim pantolon ürünlerinden toplamda 130 kadar operasyon için istatistiksel olarak %90 güven aralığında veriler toplanmış ve operasyonların standart birim zamanları hesaplanmıştır. İncelenen algoritmalar iki farklı üründe uygulanarak hat dengelemeleri yapılmış ve hat verimlilikleri hesaplanmıştır. Hat verimliliği en yüksek metodun sezgisel artırılmış verimlilik yöntemi, en düşük olanın ise en kısa işlem süresi yöntemi olduğu saptanmıştır. Hat dengeleme sonuçlarında bir işçiye birden fazla operasyon ve makine atandığı tespit edilmiştir. Ancak gerçekte konfeksiyon sektöründe çalışan işçiler her türlü dikiş makinasını kullanabilme beceri, ustalık ve isteğe sahip olmamaktadır. Bu nedenle 8 sezgisel algoritmaya işgücü kısıtı oluşturularak yeni algoritmalar geliştirilmiştir. Kısıtlı işçi koşullarında geliştirilen algoritmalar uygulandığında, hat verimliliklerinde %2 ile 21 aralığında düşüşler olmasına rağmen bir işçiye atanan farklı makine sayısı azalmış, atamalar gerçekte uygulanabilir hale getirilmiştir. Geliştirilen algoritmaların iki farklı ürüne uygulanması ile hat verimliliği açısından sezgisel artırılmış verimlilik yönteminin mevcut ürünler için en iyi sonuç verdiği saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** konfeksiyon, verimlilik, dikimhane, hat dengeleme, sezgisel algoritmalar

**2019, 102 sayfa**

## **ABSTRACT**

MSc. Thesis

### **EXAMINATION OF APPROPRIATE ALGORITHMS FOR APPAREL INDUSTRY IN ASSEMBLY LINE BALANCING**

**Zeycan Aydan DEMİRBAŞ**

Tekirdağ Namık Kemal University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Textile Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Can ÜNAL

In this study, 8 line balancing heuristics which are developed in industrial engineering and 2 line balancing heuristics which are frequently used in the apparel industry were examined and the most suitable method for the apparel industry was tried to be determined. For a total of 130 operations in classic men's shirts and denim trousers, which were produced in two different garment companies, data were gathered statistically at 90% confidence interval and standard unit times of operations were calculated. The examined algorithms were applied in two different products and lines were balanced and line efficiency was calculated. It was determined that the method with the highest line efficiency was the method of the incremental utilization heuristic and the method with the lowest line efficiency was shortest operation time method. In line balancing results, it was determined that more than one operation and machinery were assigned to one worker. In fact, workers working in the apparel industry do not have the ability, skill, and desire to use all kinds of sewing machine. Therefore, new algorithms have been developed by creating labor constraints to 8 heuristic algorithms. When the labor constrained heuristics are applied, although there has been a decrease of 2% to 21% in line efficiency, the number of diverse machines assigned to a worker has decreased and the assignments have actually been more applicable. With the application of the improved algorithms to two different products, it has been determined that the incremental utilization heuristic provides the best results for existing products in terms of line efficiency.

**Key Words:** apparel industry, efficiency, sewing department, line balancing, heuristic algorithms

**2019, 102 pages**

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGE DİZİNİ.....	v
ŞEKİL DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
ÖNSÖZ .....	X
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. KURAMSAL TEMELLER .....</b>	<b>3</b>
2.1. Hat Dengeleme Konusunda Farklı Sektörde Yapılmış Çalışmalar .....	3
2.2. Hat Dengeleme Konusunda Konfeksiyon Alanında Yapılmış Çalışmalar.....	4
2.3. Montaj Hattı ve Hat Dengeleme Kavramı.....	8
2.3.1. Hat dengeleme problemlerinde genel kavramlar .....	9
2.3.2. Hat dengeleme problemlerinin sınıflandırılması.....	11
2.3.2.1. Ürün/model sayısına göre montaj hatları.....	12
2.3.2.2. Çevrim zamanının sınırlanmasına göre montaj hatları.....	13
2.3.2.3. Operasyon süresinin tipi .....	15
2.3.2.4. Hattın yerleşim şekli .....	17
2.3.2.5. Atama kısıtlamaları.....	19
2.3.2.6. Problemin çözüm amacı .....	20
2.3.3. Basit ve genel montaj hattı dengeleme problemleri .....	21
2.3.4. Hat dengeleme problemlerine çözüm yaklaşımları .....	23
2.3.4.1. Sıralı konum ağırlığı yöntemi.....	26
2.3.4.2. En kısa işlem süresi yöntemi .....	31
2.3.4.3. En uzun işlem süresi yöntemi.....	34
2.3.4.4. Takip eden operasyonların azlığı yöntemi.....	38
2.3.4.5. Takip eden operasyonların fazlalığı yöntemi .....	42
2.3.4.6. Darboğaz yöntemi .....	46
2.3.4.7. Önceden belirlenen üretim kapasitesine göre hat dengeleme yöntemi.....	49
2.3.4.8. Sezgisel artırılmış verimlilik yöntemi.....	54
2.3.4.9. Kilbridge-Wester yöntemi .....	57
2.3.4.10. Probabilistik hat dengeleme yöntemi .....	61

<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>67</b>
3.1. Problem Tanımlaması.....	67
3.2. Standart Süre Tespiti .....	72
3.3. Algoritmalar için Uygulanan Geliştirmeler.....	74
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....</b>	<b>85</b>
4.1. Operasyon Standart Sürelerinin Hesaplanması .....	85
4.2. Klasik Erkek Gömleği Araştırma Bulguları .....	89
4.3. Denim Pantolon Araştırma Bulguları .....	90
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>	<b>93</b>
<b>6. KAYNAKLAR .....</b>	<b>98</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>102</b>

## ÇİZELGE DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 1.1. 2017-2018 yılları genel ihracat performansı içinde hazır giyim ihracatının payı ..	1
Çizelge 2.1. Örnek problem için büyükten küçüğe sıralanmış konum ağırlıkları tablosu .....	27
Çizelge 2.2. Örnek problem için sıralı konum ağırlığı yöntemine göre atama çizelgesi .....	29
Çizelge 2.3. Sıralı konum ağırlığı yöntemi sonuç tablosu.....	30
Çizelge 2.4. Örnek öncelik diyagramındaki operasyonların işlem süresine göre küçükten büyüğe sıralaması.....	32
Çizelge 2.5. En kısa işlem süresi yöntemine göre örnek problem için atama çizelgesi .....	33
Çizelge 2.6. Örnek problemin en kısa işlem süresi yöntemine göre sonuç tablosu .....	34
Çizelge 2.7. Örnek problemde operasyonların büyükten küçüğe sıralanması .....	36
Çizelge 2.8. En uzun işlem süresi yöntemine göre örnek problem için atama tablosu .....	37
Çizelge 2.9. En uzun işlem süresi yöntemine göre örnek problem sonuç çizelgesi.....	38
Çizelge 2.10. Takip eden operasyonların azlığı yöntemine göre örnek problem için kendinden sonra gelen operasyon sayısı .....	39
Çizelge 2.11. Takip eden operasyonların azlığı yöntemi için tamamlanmış atama çizelgesi ..	41
Çizelge 2.12. Takip eden operasyonların azlığı örnek problem sonuç çizelgesi.....	42
Çizelge 2.13. Takip eden operasyonların fazlalığı yöntemine göre örnek problem için kendinden sonra gelen operasyon sayısı .....	44
Çizelge 2.14. Takip eden operasyonların fazlalığı yöntemi örnek problem atama çizelgesi ...	45
Çizelge 2.15. Takip eden operasyonların fazlalığı yöntemi örnek problem sonuç tablosu.....	46
Çizelge 2.16. Darboğaz yöntemine göre örnek problemin sonuç tablosu .....	47
Çizelge 2.17. Örnek problemim çözümü için gerekli operasyonel bilgiler.....	51
Çizelge 2.18. Önceden belirlenen üretim kapasitesine göre hat dengeleme yöntemi örnek problem için sonuç çizelgesi.....	52
Çizelge 2.19. Sezgisel artırımı verimlilik yöntemine göre örnek problem atama çizelgesi....	57
Çizelge 2.20. Kibridge-Wester yöntemine göre öncelik diyagramındaki verilerin çizelgeye aktarılması.....	60
Çizelge 2.21. Örnek problemin Kilbridge-Wester yöntemiyle elde edilen sonuçları .....	60
Çizelge 2.22. Örnek problem P ve F matrisi .....	64
Çizelge 2.23. Örnek problem atama çizelgesi ve Z değerleri.....	65
Çizelge 2.24. Probabilistik hat dengeleme yöntemine göre örnek problem sonuçları .....	66
Çizelge 3.1. İşgücü kısıtına göre atamada makine grupları.....	72



Çizelge 3.2. Dinlenme payları (Kurt ve Dağdeviren 2003).....	74
Çizelge 4.1. Gömlek hazırlık bölümü operasyonların standart süreleri .....	86
Çizelge 4.2. Gömlek montaj ve ütü paket bölümü operasyonların standart süreleri.....	87
Çizelge 4.3. Denim pantolon montaj bölümü operasyonların standart süreleri .....	87
Çizelge 4.4. Denim pantolon hazırlık bölümü operasyonların standart süreleri .....	88
Çizelge 4.5. Klasik erkek gömleği tüm yöntemlerin sonuçları .....	89
Çizelge 4.6. Bayan denim pantolon tüm yöntemlerin sonuçları.....	91
Çizelge 5.1. Orijinal yöntemlerde hatalı atamalar .....	93

## ŞEKİL DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Öncelik diyagramı örneği (Supçiller 2010).....	10
Şekil 2.2. Montaj hattı dengeleme problemlerinin sınıflandırılması (Scholl 1999) .....	12
Şekil 2.3. Model sayısına göre farklı montaj hattı tipleri (Becker ve Scholl 2006) .....	13
Şekil 2.4. Ara stoksuz montaj hattı.....	14
Şekil 2.5. Ara stoklu düz montaj hattı .....	14
Şekil 2.6. Ara stoklu yuvarlak montaj hattı (Scholl 1999) .....	15
Şekil 2.7. Örnek düz montaj hattı (Chiang ve Urban 2006).....	17
Şekil 2.8. Örnek U tipi montaj hattı (Chiang ve Urban 2006) .....	17
Şekil 2.9. Paralel montaj hattı (Baykaşoğlu ve ark. 2012) .....	18
Şekil 2.10. Paralel istasyonlar (Pinto ve ark. 1975).....	18
Şekil 2.11. İki taraflı montaj hattı (Mete ve Ağpak 2013) .....	19
Şekil 2.12. Örnek problem öncelik diyagramı (Wild 2002).....	26
Şekil 2.13. Sıralı konum ağırlığı yöntemi algoritma akış diyagramı.....	28
Şekil 2.14. En kısa işlem süresi yöntemi algoritma akış diyagramı .....	32
Şekil 2.15. En uzun işlem süresi yöntemi algoritma akış diyagramı.....	35
Şekil 2.16. Takip eden operasyonların azlığı yöntemi algoritma akış diyagramı .....	40
Şekil 2.17. Takip eden operasyonların fazlalığı yöntemi algoritma akış diyagramı .....	43
Şekil 2.18. Darboğaz yöntemi algoritma akış diyagramı .....	49
Şekil 2.19. Önceden belirlenen üretim kapasitesine göre hat dengeleme yöntemi algoritma akış diyagramı.....	53
Şekil 2.20. Sezgisel artırımı verimlilik yöntemi algoritma akış diyagramı.....	55
Şekil 2.21. Kilbridge-Wester yöntemine göre örnek problem için öncelik diyagramı.....	58
Şekil 2.22. Kilbridge-Wester yöntemi algoritma akış diyagramı.....	59
Şekil 2.23. Probabilistik hat dengeleme yöntemi algoritma akış diyagramı .....	63
Şekil 3.1. Klasik erkek gömleği teknik çizimi .....	68
Şekil 3.2. Klasik erkek gömleği modeli iş akışı .....	68
Şekil 3.3. Bayan denim pantolon teknik çizimi.....	69
Şekil 3.4. Bayan denim pantolon iş akışı .....	70
Şekil 3.5. En kısa işlem süresi yöntemi kısıtlı işçi koşullarında geliştirilmiş algoritma akış diyagramı .....	76

Şekil 3.6. En uzun işlem süresi yöntemi kısıtlı işçi koşullarında geliştirilmiş algoritma akış diyagramı .....	77
Şekil 3.7. Takip eden operasyonların azlığı yöntemi kısıtlı işçi koşullarında geliştirilmiş algoritma akış diyagramı.....	78
Şekil 3.8. Takip eden operasyonların fazlalığı yöntemi kısıtlı işçi koşullarında geliştirilmiş algoritma akış diyagramı.....	80
Şekil 3.9. Sıralı konum ağırlığı yöntemi kısıtlı işçi koşullarında geliştirilmiş algoritma akış diyagramı .....	81
Şekil 3.10. Sezgisel artırımı verimlilik yöntemi kısıtlı işçi koşullarında geliştirilmiş algoritma akış diyagramı.....	82
Şekil 3.11. Kilbridge-Wester yöntemi kısıtlı işçi koşullarında geliştirilmiş algoritma akış diyagramı .....	83
Şekil 3.12. Probabilistik hat dengeleme yöntemi kısıtlı işçi koşullarında geliştirilmiş algoritma akış diyagramı.....	84
Şekil 4.1. Yaka birleştirme operasyonu etüt formu örneği.....	85
Şekil 5.1. Denim pantolon en kısa işlem süresi yöntemi iş akışı üzerinde istasyonların durumu .....	94
Şekil 5.2. Denim pantolon en kısa işlem süresi geliştirilen yöntem iş akışı üzerinde istasyonların durumu.....	95
Şekil 5.3. Gömlek için orijinal algoritmalarla, geliştirilen algoritmaların t-testi sonuçları.....	96
Şekil 5.4. Denim pantolon için orijinal algoritmalarla, geliştirilen algoritmaların t-testi sonuçları.....	96

## **SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

<b>İHKİB</b>	: İstanbul Hazır Giyim ve Konfeksiyon İhracatçıları Birliği
<b>MHDP</b>	: Montaj Hattı Dengeleme Problemi
<b>BMHDP</b>	: Basit Montaj Hattı Dengeleme Problemi
<b>GMHDP</b>	: Genel Montaj Hattı Dengeleme Problemi
<b>MALBP</b>	: Karışık Montaj Hattı Dengeleme Problemi
<b>MSP</b>	: Karma Model Sıralama Problemi
<b>UALBP</b>	: U Hattı Dengeleme Problemi
<b>MHTP</b>	: Montaj Hattı Tasarım Problemi

## ÖNSÖZ

Tez konumun belirlenmesinden sonuçların analizine dek çalışmam süresince görüş ve önerileriyle beni yönlendirerek desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Can ÜNAL' a,

Çalışmam sırasında veri toplama ve uygulama konusunda işletmelerinde imkân sağlayan erkek gömleği ve denim pantolon üretimi yapan hazır giyim firması yönetici ve çalışanlarına,

Her daim yanımda olan ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen eşime, çocuklarıma ve anneme en içten saygılarım ile teşekkür ederim.

Mayıs 2019

Zeycan Aydan DEMİRBAŞ  
Tekstil Mühendisi

## 1. GİRİŞ

Konfeksiyon sektörü, tekstil sektöründe üretilen kumaşların moda sektörüne yönelik olarak işlendiği, tekstil ürünlerine katma değer kazandıran ve emek yoğun bir sektördür. Bu nedenle işçiliğin ucuz olduğu gelişmekte olan ülkeler tarafından yatırım için tercih edilmektedir (Bakır 2015).

Konfeksiyon sektörü sunduğu istihdam olanakları ve ihracat geliri ile Türkiye dâhil pek çok gelişmekte olan ülkede ekonomik gelişmeye katkıda bulunmaktadır (Dilber 2004, Öngüt 2007, Bostan ve ark. 2010, Erkan 2013, Anonim 2014). İHKİB'in hazırladığı ihracat performans değerlendirmesine göre 2018 yılında Türkiye genel ihracatı %7,1 oranında artarak 168,1 milyar dolar olmuştur. Sanayi ihracatı ise %12,4 oranında artışla 136,3 milyar dolara yükselmiştir. 2018 yılında Türkiye'den hazır giyim ve konfeksiyon ihracatı 17,6 milyar dolar değerinde yapılarak 2017 yılına göre dolar bazında %3,6 oranında artış sağlanmıştır. Ancak bu değer ile sektör genel ihracattan ve sanayi ihracatından daha düşük bir ihracat başarısı göstermiştir. 2018 yılında hazır giyim ve konfeksiyon ihracatının Türkiye genel ihracatındaki payı %10,8'den %10,5'e, sanayi ihracatındaki payı ise %14'ten %12,9'a gerilemiştir. 2018 yılında otomotiv endüstrisinin ardından en fazla ihracat yapan sektör hazır giyim ve konfeksiyon sektörü olmuştur (Çizelge 1.1).

**Çizelge 1.1.** 2017-2018 yılları genel ihracat performansı içinde hazır giyim ihracatının payı (Anonim 2019)

Genel İhracat Performansı İçinde Hazırgiyim ve Konfeksiyon İhracatının Payı						
	2017	2018	2017/18 Değişim %	2018 Ocak	2019 Ocak	2018/19 Değişim %
<i>Birim: 1000 \$</i>						
<b>Türkiye Genel İhracatı</b>	156.991.707	168.087.637	7,1	12.434.230	13.171.046	5,9
<b>Hazırgiyim ve Konfeksiyon İhracatı</b>	17.031.269	17.642.157	3,59	1.427.624	1.422.007	-0,4
Haz. ve Konf. İhracatının Payı %	10,8	10,5		11,5	10,8	
<b>Sanayi İhracatı</b>	121.278.547	136.325.297	12,4	7.544.037	8.133.042	7,8
Haz. ve Konf. İhracatının Sanayi Ürünleri İhracatındaki Payı %	14,0	12,9		18,9	17,5	
<i>Kaynak: İhracatçı Birlikleri Kayıtları</i>						

Ancak değişen ekonomik koşullar sonucu konfeksiyon sektörü dünya üzerinde işçiliğin daha ucuz olduğu başka merkezlere kaymaktadır. Ekonomiye katkısı dikkate alındığında sektörden sağlanan getirilerin kaybedilmesi söz konusudur (Anonim 2004, Erkan 2013). Bu nedenle hazır giyim sektörünün rekabetçiliğinin artırılması ve sürdürülmesi ülkemiz için büyük önem arz etmektedir.

Aynı ürünü üreten rakiplerin artması ile firmalarda ortaya çıkan farklılaştırma ve yenilik ihtiyacı, hızla değişen moda akımları ile yeni ürünlerin pazara ulaştırılması, yıl içi mevsim sayısının ve dolayısıyla ürün sayısının artması hazır giyim firmalarının üretim yapısını da etkilemiştir (Çoruh 2017). Değişen pazar yapısına uyum sağlayabilmek için, hazır giyim firmaları katma değeri yüksek ürünleri kaliteli ve rekabetçi fiyatlarla ve en kısa sürede üretebilmek için maliyetleri en alt seviyeye düşürmeyi sağlayacak verimlilik artırıcı üretim ve yönetim tekniklerini uygulamak zorundadır (Öngüt 2007).

Verimlilik bir işletmede üretilen miktarla, üretimde kullanılan herhangi bir kaynak arasındaki orandır (Kanawaty 2004). İşletmede kaynaklar malzeme, arazi, makine, araç ve insan emeği olabilir. Üretim esnasında bu kaynakların biri veya hepsi de kullanılabilir. Aynı kaynakları kullanarak daha fazla üretim yapmak yüksek verimlilik getirecektir. Dolayısıyla verimlilik artışları daha iyi kalitede, daha düşük maliyette daha çok üretim ve daha çok gelir ve kâr demektir (Güner ve Yücel 2014).

Üretim hatlarının verimli bir şekilde, bekleme veya stok birikimi olmadan çalışabilmesi için, yapılacak görevlerin istasyonlara çevrim süresini aşmayacak şekilde iş istasyonları arasında dağıtılarak düzenlenmesi gerekir. Hat dengeleme olarak adlandırılan bu düzenleme süreç, yöntem veya planlamadan kaynaklı etken olmayan süreleri azaltarak verimliliği arttıran ve üretim maliyetleri azaltan bir mühendislik uygulamasıdır (Kanawaty 2004, Güngör ve Akkaya 2012).

Konfeksiyonda üretim bandının iyi dengelenerek boşta geçen zamanların azaltılması üretim hızını etkileyen önemli bir faktördür. Bu çalışmada konfeksiyon sektörüne uygun hat dengeleme algoritmaların tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla üretim aşaması fazla olan denim pantolon ve gömlek ürünlerinden seçilen birer modele 10 farklı hat dengeleme algoritması uygulanmıştır. Konfeksiyonda çok çeşitli makine tipinin kullanılması ve gerçekte her çalışanın her makineyi kullanma bilgi ve becerisine sahip olmaması nedeniyle uygulanan algoritmaların çoğunun konfeksiyon üretimine uygun olmadığı görülmüştür. Bu sorunu gidermek amacıyla, aynı makine tiplerinin aynı istasyona atanmasını sağlamak üzere, endüstri mühendisleri tarafından sıklıkla kullanılan sezgisel algoritmalar için “işgücü kısıtı” getiren yeni algoritmalar oluşturulmuştur. Bu algoritmalar çalışanların yeteneklerine bağlı olarak, birden fazla dikiş makinasını kullanıp kullanamama durumuna göre gerekli atamaları gerçekleştirmektedir.

## 2. KURAMSAL TEMELLER

Bu bölümde öncelikle hat dengeleme üzerine yapılmış çalışmalar hakkında bilgi verilecektir. Yapılan çalışmalar konfeksiyon alanında ve diğer sektörlerde yapılmış çalışmalar gruplandırılarak iki başlık altında sunulacaktır. Ardından sırasıyla montaj hattı, hat dengeleme kavramı, hat dengeleme problemleri ve sınıflandırılması, hat dengeleme problemlerinin çözüm yöntemleri anlatılacaktır.

### 2.1. Hat Dengeleme Konusunda Farklı Sektörde Yapılmış Çalışmalar

Özgörmüş (2007) yapmış olduğu tez çalışmasında, görev zorluğu, görev riski ve görev monotonluk düzeyi gibi ergonomik faktörlerin dikkate alındığı yeni bir hat dengeleme modeli önermiştir. Modelde yer alan risk seviyesi, zorluk derecesi ve monotonluk düzeyi bulanık bir kavram olarak tanımlanmış ve bu doğrultuda bulanık doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Modelin çözümü Lingo paket programında, literatürde yer alan Jackson problemi üzerinde bulanık doğrusal programlama yaklaşımlarından Zimmerman yaklaşımı ergonomik faktörleri dikkate alarak ve dikkate alınmadan iki şekilde uygulanarak yapılmıştır. Kurulan iki modelde görevlerin istasyonlara atanmasında farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Ergonomik faktörlerin dikkate alındığı modelde görev dağılımının daha eşit bir dağılım olduğu görülmektedir.

Supçiller (2010) yapmış olduğu doktora tezinde genel montaj hattı dengeleme problemlerinden olan karmaşık modellenmiş montaj hattı dengeleme problemini incelemiş, problemi çözmek için kural tabanlı bir bütünleşmiş bir genetik algoritma önermiş ve tartışmıştır. Algoritmanın geçerliliğini göstermek amacıyla kıyaslama problemleri bulunmamaktadır. Bu nedenle literatürden alınan problemler, alternatif rotalar eklenerek uyarlanmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Önerilen genetik algoritma daha iyi sonuçlar vermiştir.

Küçükkoç (2011) yaptığı tez çalışmasında karışık modellenmiş düz montaj hattı dengeleme problemlerini incelemiş, COMSOAL ve Genetik algoritmanın birlikte kullanıldığı hibrid genetik algoritma ile çözüm yolları üretmiştir. Algoritmanın geçerliliğini göstermek amacıyla 12 test problemi üzerinde denemeler yapılarak sonuçlar, sadece genetik algoritmadan alınan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta hibrid genetik algoritmanın daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir.

Kahraman ve İspir (2004) duş kabinleri üreten bir fabrikada yaptıkları bir çalışmada, çeşitli modeller için montaj hattının yerleşim şemaları çizilmiş, montaj hattındaki her görev için standart zamanları iş etüdü teknikleri ile ölçülmüş ve hattaki denge kayıpları bulunarak



hattın verimliliği hesaplanmıştır. Çalışmada hat dengeleme metodu olarak sezgisel yöntemlerden Fable metodu ve Pozisyon Ağırlığı Metodu kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada Masoor ve Helgeson-Birnie yöntemlerinden kaynak olarak faydalanılarak iki bilgisayar programlama metodu oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar dört yöntem için yaklaşık benzer olmakla birlikte, görev sayısının çok olduğu problemlerde bilgisayar programı yönteminin daha pratik olduğu vurgulanmıştır.

## **2.2. Hat Dengeleme Konusunda Konfeksiyon Alanında Yapılmış Çalışmalar**

Eryürük (2005) yapmış olduğu tez çalışmasında, çok modelli bir hazır giyim işletmesinde 5 farklı model üzerinde 2 adet sezgisel yöntem kullanarak hat dengeleme yapmıştır. Tezinde konum ağırlıklı hat dengeleme ve probabilistik montaj hattı dengeleme yöntemlerini uygulamış ve sonuçlarını karşılaştırmıştır. Çalışmanın amacı sabit bir çevrim süresi için en yüksek hat etkinliğini veren yöntemi tespit etmektir. Çalışmada konum ağırlıklı hat dengeleme metodunun hat etkinliği ve uygulama kolaylığı açısından probabilistik hat dengeleme metoduna göre daha avantajlı olduğu belirtilmiştir. Her iki hat dengeleme metodunun da etkin bir yöntem olduğu ve hedefler doğrultusunda yöntem seçmek gerektiği vurgulanmıştır.

Ünal ve ark. (2009) bir hazır giyim işletmesinde yaptıkları çalışmada, hat dengeleme yapmak için bir sezgisel algoritma önermişler ve simülasyon tekniğini kullanarak farklı yerleşim şekillerinde algoritmanın etkinliğini değerlendirmişlerdir. Önerilen algoritmanın temel prensibi hattın kapasitesini sınırlayan darboğaz operasyonlarını bulmaktır. Algoritmada istasyon kullanım oranının %99 kullanılıp kullanılmadığı kontrol edilerek darboğaz operasyonları bulunmakta ve kullanımı düşük olan istasyonları doldurmak için farklı yollar aranmaktadır. Algoritma düz ve U tipi hat için ayrı ayrı iyileştirilecek bir çözüm kalmayınca kadar tekrarlamalı olarak uygulanmıştır. Düz hattaki uygulamada 6 farklı çözüm, U hattaki uygulamada 8 farklı çözüm elde edilmiştir. Bu çözüm yolları simülasyon tekniği ile uygulanarak ortalama istasyon kullanım oranları değerlendirilmiş ve U tipi hatları daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Eryürük ve ark. (2011) yaptıkları bir çalışmada bir hazır giyim işletmesinde probabilistik hat dengeleme yöntemini kullanarak çok modelli hat dengeleme problemine çözüm aramışlardır. Beş farklı modelin kullanıldığı çalışmada sabit bir çevrim zamanı için en yüksek hat etkinliğini elde etmek amaçlanmıştır. Çalışmada probabilistik hat dengeleme yöntemi iş istasyonlarına hassas bir atama yapılarak güvenilir sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Çalışmanın uygulaması açısından bakıldığında, bazı istasyonlarda birden fazla makine ve görev uygulandığı belirtilmiş, birden fazla makinede çalışmanın pratikte verimliliği azaltacağı vurgulanmıştır. Atama yapılırken bu durumu dikkat edilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Gürsoy (2011) yaptığı çalışmada, hazır giyim işletmelerinde kullanılmak üzere esnek bir üretim aralığı ile operatör başına düşen en az boş zamanı arayan bir tamsayılı matematiksel programlama metodu geliştirmiştir. Ayrıca minimum operatör sayısını belirleyen, operatör başına boş zamanı bulan ve esnek olan veya olmayan operasyonları dikkate alan bir sezgisel algoritma tasarlanmış ve C++ dilinde bir yazılım programlanmıştır. Yazılım yardımı ile model verileri değerlendirilerek yüksek verimlilikte hat dengeleme sonuçları sunulmuştur.

Güner ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada, üretim hatlarının dengelenmesinde kullanılan 5 ayrı yöntemi bir tişört üretimi üzerinde uygulayarak hat dengeleme yöntemlerinin verimlilikleri değerlendirmiştir. Elde edilen sonuçlarda 5 farklı yöntemin de aynı verimlilik değerine sahip olduğu bulunmuştur. Tişört üretiminin az işlem basamağı olması nedeniyle farklı sonuçlar elde edilememiştir. Ayrıca iyileştirilmiş hat dengeleme yöntemi uygulanmış ve sonuçları diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır. İyileştirilmiş yöntemde çevrim süresini aşan işlem süreleri için paralel hatlar oluşturulmuş, böylece çevrim süresi azaltılmıştır. Ardından diğer yöntemlerden biri, örneğin en uzun işlem süresi metodu uygulandığında hat verimliliğinin yükseldiği tespit edilmiştir.

Güngör ve Akkaya (2012) etek üreten bir hazır giyim firmasında zaman ve metot etüdü ile operasyonel iyileştirmeler yapmış, bu iyileştirmeler doğrultusunda oluşan üretim artışı ve oluşacak darboğazları hat dengeleme yaparak düzenlemişlerdir. Ayrıca maksimum hat etkinliği veya maksimum üretim adedine göre paralel istasyonlar ile alternatif üretim bantları oluşturularak, her hattın hat etkinliği ile birim ürün maliyetlerindeki değişikliğini de analitik olarak incelemişler ve hat etkinliği arttıkça birim maliyetin azaldığını hesaplamışlardır. Çalışmada sonuç olarak hat etkinliğin yanında maliyet açısından da ekonomikliğinin değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Chen ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada, farklı beceri seviyelerine sahip çalışanları olan bir hazır giyim işletmesi için bir grup genetik algoritma (GGA) geliştirmişlerdir. Algoritma makineler ve farklı beceri seviyelerine sahip çalışanlar arasında iş yükünün dağıtımını yapmakta ve ortalama mutlak sapma minimize edilmektedir. GGA'nın performansını değerlendirmek için işletmeden alınan gerçek veriler ve deneysel tasarım kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçlarında daha düşük ortalama mutlak sapma, daha düşük çevrim süresi, yüksek iş sonuçları ve daha yüksek çalışan kullanım oranını için istasyonlara daha fazla işçi

ataması, işçilerin daha fazla operasyon bilmesini ve yüksek verimlilik sağlanması gerektiği vurgulanmıştır.

Ünal (2013) yaptığı bir çalışmada 6 farklı hat dengeleme algoritmasını gömlek üretimine uygulamıştır. Bu amaçla gömlek üretiminde yapılan işlemlerin standart süreleri zaman etüdüne göre hesaplanmış, gecikme zamanları iş örnekleme ile tespit edilmiş, işletme yönetiminin isteği ile mevcut yöntem değerlendirilmiş ve yeni bir algoritma oluşturularak yöntemleri birbiri ile karşılaştırılmıştır. İstasyon kullanım oranları takip eden operasyonların fazlalığı ve konum ağırlığı yöntemlerine göre yüksek çıkmasına rağmen bu yöntemlerde iş akışı ve makine kombinasyonları düşünülmemektedir. Ürün parçalarının hatta tersine akışı ürünün kalitesinde problemlere neden olduğu belirtilmiş, bu durumu engellemek için yeni algoritmada kalite ölçütleri göz önünde bulundurularak makine gruplaması yapılmış ve iş akışı daha az dolaşacak şekilde ayarlanmıştır. İş istasyonu kullanım oranı yeni algoritmada takip eden operasyonların fazlalığı ve konum ağırlığı yöntemlerine göre düşmüştür, ancak daha kaliteli bir üretim yapılabileceği belirtilmiştir.

Jaganathan (2014) bir hazır giyim işletmesinde yaptığı çalışmada hat dengeleme ve yerleşim planı üzerine odaklanmıştır. Belli bir model için mevcut hattı incelemiş, operasyon sürelerini ve mevcut yerleşim planını tespit etmiştir. Mevcut hat 16 iş istasyonundan oluşmaktadır ve hat verimliliği %59,5 olarak hesaplanmıştır. En büyük aday kuralı algoritmasını (Largest Candidate Rule Algorithm) dikim hattında uyguladıktan sonra istasyon sayısı 8'e indirmiş, yerleşim planını yeniden düzenlenmiştir. Böylece hat verimliliği %85,5'e yükselmiştir.

Karabay (2014) bir hazır giyim işletmesinde yaptığı çalışmada, bir bayan bluz modeli üzerinde iki pratik hat dengeleme modeli ve konum ağırlığı metodu sezgiseli ile hat dengeleme yapılmıştır. Hat dengeleme verimlilikleri ve düzgünlük indeksleri hesaplanmıştır. Ayrıca iki pratik hat dengeleme yöntemi ve konum ağırlığı yönteminin kombinasyonları geliştirilmiş, oluşturulan yeni yöntemlerin hat dengeleme verimlilikleri ve düzgünlük indeksleri ile önceki sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Eryürük ve ark. (2014) yaptıkları bir çalışmada, etek üretimi yapan bir konfeksiyon işletmesinde Helgeson ve Birnie tarafından geliştirilen "konum ağırlıklı montaj hattı dengeleme yöntemi" kullanılarak hat dengeleme yapılmıştır. Çalışmada sabit bir çevrim süresi için optimum işgücü ve makine kullanılarak en yüksek hat etkinliğini elde etmek amaçlanmıştır. Etek modelinde çok fazla makine çeşidi kullanılması ve az sayıda işlem basamağına sahip olması nedeniyle görevlerin dağıtımında esneklik düşmüş ve hat etkinliği %80 hesaplanmıştır.

Güngör ve Ağaç (2014) yaptıkları çalışmada, karma modellenli erkek gömleği üreten bir hazır giyim işletmesinde COMSOAL (Computer Method for Sequencing Operations for Assembly Lines) metodu kullanılarak montaj hattı dengelemesi yapılmıştır. Çalışma ile farklı modelde ve parti büyüklükleri değişken sipariş geldiğinde, istenen kalitede ve en düşük maliyetle verimli bir montaj hattının kurulması amaçlanmıştır. Bir makinenin bir çalışan tarafından kullanılabilmesi, paralel istasyon oluşturulması, aynı makinelerde uygulanan görevler aynı istasyona atanması gibi kaynak kısıtlarını COMSOAL algoritmasında yeniden düzenlenmiştir. Görev verileri, makine miktarları, üretilecek modeller ve sipariş miktarları kaynak kısıtları düzenlenmiş COMSOAL programında değerlendirildiğinde, işletmenin karşılaştığı hat dengeleme kayıpları önceden tahminlenebilir olmaktadır.

Kayar ve Akyalçın (2014) yaptıkları çalışmada, en yüksek hat verimliliğini veren montaj hattını oluşturmaya çalışmışlar ve montaj hatlarında kullanılan yöntemlerin hazır giyim montaj hatlarına uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Bu amaçla tişört üretimi yapan bir hazır giyim fabrikasında zaman etüdü çalışması ile elde edilen verilere, 5 farklı sezgisel hat dengeleme metodu uygulamışlardır. Bu metotlar Hoffman metodu, pozisyonel ağırlıklı metot, COMSOAL metodu, Moddie&Young metodu, Kilbirdge&Western metodudur. Ayrıca montaj hattına klasik bir hat dengeleme metodu da uygulayarak, klasik metodun sonuçlarını diğer sezgisel metot sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek verimlilik klasik metotla bulunmuş, Hoffman ve COMSOAL metodu da klasik metoda yakın sonuçlar vermiştir.

Rahman ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada bir hazır giyim işletmesinde verimliliği iyileştirmek için çeşitli hat dengeleme tekniklerini kullanarak boş zamanları azaltma yollarını tanımlamayı amaçlamışlardır. Çalışmada en büyük aday kuralı ve pozisyonel ağırlıklı hat dengeleme metodu kullanılarak görevleri iş istasyonlarına atamak ve hat dengeleme verimliliklerini hesaplamak için C++ dili ile bir yazılım geliştirilmiştir. Yazılım çalıştırıldığında tahmini üretim miktarını ve üretim zamanı hesaplamaktadır. Ayrıca çalışmada yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Yeni algoritmaya göre eğer bir istasyon süresi servis süresinin %95'in altında kalıyorsa, bir sonraki operasyon iki ayrı parçaya bölünür, bir parçası bir önceki işleme eklenir, diğer parça bir sonraki işleme eklenir. Böylece istasyon süreleri yükselmiş olur. Yeni algoritma ile pozisyonel ağırlıklı hat dengeleme metodunun sonuçları karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada yukarıda belirtilen çalışmalardan farklı olarak konfeksiyon sektörü çalışanları tarafından kolayca uygulanabilecek niteliklere sahip sezgisel algoritmalarda,

sektöre uygun düzenlemeler yapılarak, gerçek işletme verileriyle geliştirilmiş algoritmalarından elde edilecek sonuçların incelenmesi hedeflenmiştir.

### 2.3. Montaj Hattı ve Hat Dengeleme Kavramı

Bir ürünü oluşturan bağımsız parçaların belirli bir metot ve sıra bir araya getirilerek birleştirilmesine montaj denir (Keskintürk ve Küçük 2006).

Montaj işlemleri gerçekleştirmek üzere ilk defa Amerika'da Ford firması tarafından kullanılan montaj hatlarının kurulmasındaki amaç, yüksek talebi olan ürünlerin kısa sürede, verimli şekilde, istenen kalitede ve düşük maliyetle üretilmesini sağlamaktır (Günışık 2000, Eryürük ve ark. 2014).

Montaj hattı, üretimi yapılan iş parçalarının bir istasyondan diğerine hareket etmesi ile meydana gelen sistemlerdir. Üretim seri olarak ve büyük hacimlerde gerçekleştirilir (Özgörmüş 2007).

Montaj hattı, işlerin verilen bir çevrim zamanı içerisinde, belirli sırayla iş istasyonlarında gerçekleştirildiği, her istasyonda ürüne değişik parçaların monte edildiği bir üretim sürecidir (Küçükkoç 2011).

Montaj hatlarının işletmelere sağladığı pek çok fayda/amacı bulunmaktadır (Günışık 2000, Kahraman ve İspir 2004, Keskintürk ve Küçük 2006, Özgörmüş 2007):

- Düzenli bir malzeme akışı sağlar.
- İşgücü ve makine kapasitelerinin üst seviyede kullanılmasını sağlar.
- Boş süreleri en aza indirmeyi amaçlar.
- Boş süreleri iş istasyonları arasında eşit şekilde dağıtmaya çalışır.
- Üretim maliyetlerini en aza indirir.

Bir montaj hattında bir istasyonun süresi diğer istasyonlara göre düşük olduğunda iş beklemekte, süresi fazla olan istasyonda ise yığılmalar meydana gelmektedir. Bu yığılmalar ve boş beklemeler istasyonların işlem süreleri arasındaki fark nedeniyle oluşmaktadır. Montaj hattındaki istasyonların süreleri arasındaki farkı en aza indirmek için yapılan düzenlenmelere "Montaj Hattı Dengeleme" çalışması denir (Günışık 2000, Orbak ve ark. 2008). Dengenin sağlanamadığı durumda bazı istasyonlarda diğerlerinden daha fazla iş yükü olacağı için verimlilikte düşüşlerin olması engellenememektedir (Günay ve Ark. 2004).

### 2.3.1. Hat dengeleme problemlerinde genel kavramlar

MHDP’ni daha iyi anlayabilmek için bazı kavramların tanımlanması faydalı olacaktır. Bu kavramlar aşağıda sıralanmıştır:

*Montaj:* Bir ürün veya yarı ürün oluşturmak amacıyla değişik parçaların bir araya getirilip birleştirilmesi işlemidir.

*Operasyon/görev/iş ögesi:* Bir montaj işleminde toplam iş içeriğinin mantıksal olarak bölünmüş parçasıdır. Diğer bir deyişle iki veya daha fazla işçi arasında paylaştırılması olanaksız olan en küçük işlemdir.

*İş istasyonu:* Montaj hattı üzerinde bulunan ve üründe bir veya birden fazla işlemin yapıldığı yerdir. İstasyonlarda genellikle bir işçi çalışır, operasyon ihtiyacına göre birden fazla işçi de çalıştırılabilir.

*Toplam iş zamanı:* Montaj hattı üzerinde üretilecek bir ürünün montajı için gerekli süre veya bütün görevlerin tamamlanması için gereken toplam süredir.

*İstasyon zamanı:* Aynı istasyonda gerçekleştirilen görevlerin tamamlanması için gereken toplam süredir.

*Çevrim zamanı:* Ürün açısından bakıldığında ürünün bir istasyonda işleminden geçeceği en büyük süre olarak tanımlanabilir. İşçi açısından ise bir işçinin görevlerini tamamlayabilmesi için gereken süre olarak ifade edilebilir. Çevrim süresinin minimum değeri, en uzun istasyon süresine eşit veya daha büyük olmalıdır. Çevrim süresi aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

C: Çevrim süresi

T: Günlük üretim süresi

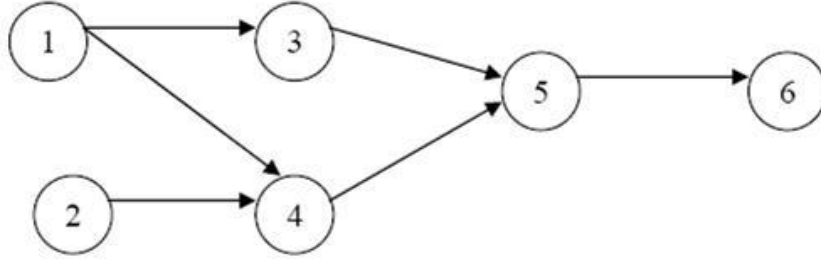
N: Üretilmesi gereken günlük üretim adedi

$$C = \frac{T}{N} \quad (2.1)$$

*İstasyon gecikme zamanı/boş zaman:* Çevrim süresi ile iş istasyonu süresi arasındaki farktır.

*Öncelik ilişkisi ve öncelik diyagramı:* Ürünün tasarımı, üretim teknikleri ve kalite niteliklerinden dolayı ürünü meydana getiren operasyonların bazılarının diğerlerinden daha önce yapılması gerekmektedir. Montaj hattındaki hangi işlemlerin hangi sıra ile gerçekleştirileceğini öncelik ilişkisi düzenler (Keskintürk ve Küçük 2006). Öncelik ilişkisi, öncelik diyagramı olarak ifade edilen grafikler yardımıyla gösterilmektedir. Bu grafikler hat dengeleme sistemlerinde öncelik ilişkilerinin gösterilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Şekil 2.1’de öncelik diyagramı örneği görülmektedir. İçinde rakam bulunan her bir daire görevleri, oklar da akışın öncelik sırasına göre yönünü göstermektedir. Öncelik kısıtı olarak değerlendirildiğinde ise, örneğin 5 numaralı görevin gerçekleştirilebilmesi için 3 ve 4 numaralı görevler ile 1 ve 2 numaralı görevlerin tamamlanmış olması gerekmektedir. Aynı şekilde 6 numaralı işlemin yapılabilmesi için de 5 numaralı görevin tamamlanması gerekmektedir.



**Şekil 2.1.** Öncelik diyagramı örneği (Supçilller 2010)

*En yakın öncel:* Bir operasyonun kendinden bir önce gerçekleşen işlem veya işlemlerdir. Örneğin 5 numaralı operasyonun en yakın önceli 3 ve 4 numaralı operasyonlardır. 3 numaralı operasyonun en yakın önceli ise 1 numaralı operasyondur. 1 ve 2 numaralı operasyonların en yakın önceli ise bulunmamaktadır.

*Teorik minimum iş istasyonu sayısı :* Çevrim süresi kısıtına göre minimum iş istasyonu sayısı aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\text{Minimum iş istasyonu sayısı}(n_{enk}) = \frac{\sum_{i=1}^n i. \text{ operasyon süresi}}{\text{Çevrim süresi}} \quad (2.2)$$

*Gerekli en az istasyon sayısı ( $n_{enaz}$ ):* Çevrim süresinin yarısından daha büyük süreye sahip iş öğeleri aynı istasyona atanamazlar. Bu iş öğeleri ayrı istasyonlarda bulunmalıdır. Bu durumda olası iş istasyonu sayısı hesaplanır:

*Olası istasyonu sayısı ( $n_{olası}$ ):* çevrim süresinin yarısından daha büyük süreye sahip iş sayısı

Montaj hattını dengelemek için gerekli en az iş istasyonu sayısı, olası istasyon sayısı ile minimum iş istasyonu sayısı değerinin en büyüğü olarak tanımlanır.

$$n_{enaz} = \text{enb}(n_{enk}, n_{olası}) \quad (2.3)$$

*Hat verimliliği:* Hat verimliliği görev zamanlarının toplamı ile toplam zaman arasındaki orandır. Hattın verimliliği aşağıdaki formülle hesaplanır Formülden de anlaşıldığı üzere daha az iş istasyonu daha yüksek verimlilik ve daha az çalışan sayısıdır.

$$\text{Hattın verimliliği} = \frac{\sum \text{operasyon süreleri}}{\text{iş istasyonları sayısı} * \text{çevrim süresi}} \quad (2.4)$$

*Denge kaybı/gecikmesi:* İşlerin istasyonlara dengesiz dağıtımını gösteren bir ölçektir. Çoğunlukla sıfırdan büyüktür ve bu değer sıfır olması ideal olanıdır. Denge kaybı aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$\text{Denge kaybı} = \frac{(\text{istasyon sayısı} * \text{çevrim süresi}) - \sum \text{operasyon süreleri}}{\text{istasyon sayısı} * \text{çevrim süresi}} \quad (2.5)$$

*Kuramsal etkinlik:* Hat verimliliğinin gerekli en az istasyon sayısı kullanılarak hesaplanır. Hattın sahip olabileceği maksimum etkinliği ifade etmek için kullanılır.

$$\text{Kuramsal etkinlik} = \frac{\sum \text{operasyon süreleri}}{\text{Gerekli en az istasyon sayısı} * \text{çevrim süresi}} \quad (2.6)$$

*Düzensizlik indeksi:* Bir montaj hattı dengelemesi için göreceli düzensizliği gösterir ve düzensizlik sıfır ise indeks mükemmel dengeyi göstermektedir.

$$DI = \sqrt{\sum_{i=1}^n (T_{enb} - T_i)^2} \quad (2.7)$$

DI = Düzensizlik indeksi

$T_{enb}$  = Maksimum istasyon zamanı

$T_i$  = i. İstasyon zamanı

$n$  = toplam istasyon sayısı

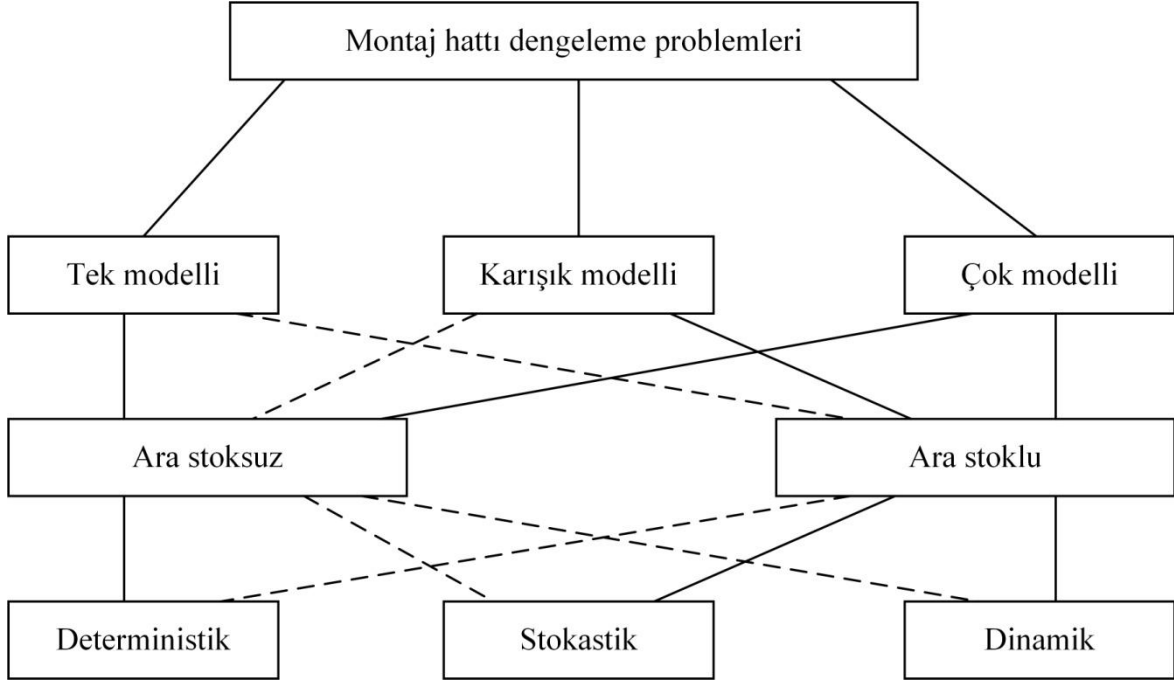
### 2.3.2. Hat dengeleme problemlerinin sınıflandırılması

Endüstri üretimindeki çok farklı koşullar nedeniyle montaj hattı sistemleri ve dolayısıyla problemleri de çok yönlü olmaktadır. Montaj hatlarını sınıflandırmak için bazı temel özellikler bulunmaktadır:

1. Ürün veya model sayısı,
2. Çevrim zamanı sınırlamaları,
3. Operasyon süresinin tipi,
4. Hattın yerleşim şekli,
5. Atama kısıtları,
6. Problemin çözüm amacı.



Bu özelliklerin farklı kombinasyonları ile farklı montaj hatları ve dolayısıyla farklı montaj hattı dengeleme problemleri karşımıza çıkmaktadır. Montaj hattı dengeleme problemlerinin 3 temel özelliği ve bunların ilişkilerini gösteren Şekil 2.2 literatürde kabul görmektedir. Şekilde düz çizgiler özelliğin belli bir kombinasyonu için tipiktir. Kesikli çizgiler ise onun nadir görüldüğünü belirtmektedir (Scholl 1999).



Şekil 2.2. Montaj hattı dengeleme problemlerinin sınıflandırılması (Scholl 1999)

### 2.3.2.1. Ürün/model sayısına göre montaj hatları

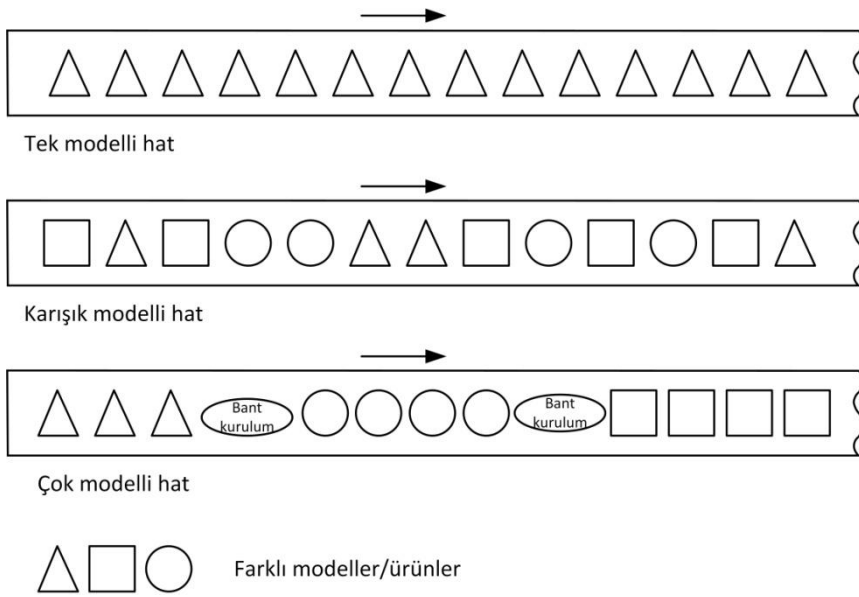
Aynı montaj hattında üretilen farklı ürün sayısı, montaj hattı dengeleme problemlerinde önemli bir ayırıcı niteliklerdir. Ürün sayısına göre montaj hattı dengeleme problemleri üçe ayrılmaktadır:

*Tek modelli montaj hatları:* Tek bir ürün modeli büyük miktarlarda sürekli olarak üretilir. Bütün istasyonlarda aynı görev aynı işlenecek ürün parçaları ile yapılır. Bütün istasyonların iş yükü sabit kalır.

*Karışık modelli montaj hatları:* Basit bir ürünün çeşitli modelleri aynı hat üzerinde üretilir. Modellerin üretim süreçleri çok benzerdir çünkü modeller temel bazı özellikleri ve tercihe bağlı nitelikleri ile ana üründen farklılaşmaktadır. Bu nedenle temel operasyonların bazıları her modelin üretiminde uygulanmaktadır. Bazı operasyonlar süre bakımından farklılık gösterirken, bazı operasyonlar ise tercihe bağlı isteklere göre değişen parçaların takılması veya takılmamasına göre değişmektedir. Bir modelden diğerine çok küçük ayarlamalar ile veya hiç ayarlama yapmadan geçiş yapılmaktadır. Güncel talepleri karşılamak adına modeller

hatta ardı sıra karışık sıralamada üretilir. Bu durumda dengeleme problemi, en etkin model sıralamasının belirlenmesi problemine dönüşmektedir (Scholl 1999).

*Çok modelli montaj hatları:* Birkaç benzer ürün, bir veya birkaç montaj hattında üretilir. Üretim süreçlerindeki önemli farklardan dolayı, ürün değiştiğinde üretim hattında bazı araç gerecin tekrardan hazırlanması veya değiştirilmesi gerekmektedir. Hazırlık süresi kayıplarını azaltmak için ürünler ayrı gruplar halinde üretilirler. Üretilen miktar artırdıkça hazırlık maliyetleri azalmakta, stok maliyetleri ise artmaktadır. Bu durum en ekonomik grup miktarı problemi ve her ürün için üretim çevriminin belirlenmesi problemlerini ortaya çıkarmaktadır. Ürün yığınlarının montaj hattı üzerinde zaman çizelgelemesinin yapılması gerekmektedir.

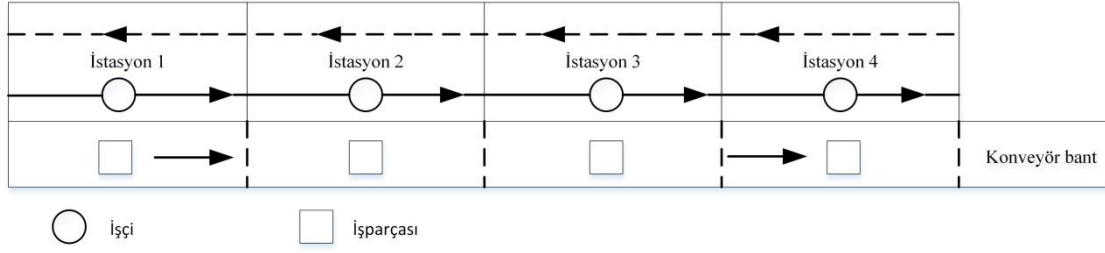


**Şekil 2.3.** Model sayısına göre farklı montaj hattı tipleri (Becker ve Scholl 2006)

### 2.3.2.2. Çevrim zamanının sınırlanmasına göre montaj hatları

Her istasyonun istasyon zamanı çevrim süresi ile aynı ve sabit ise ara stoksuz montaj hatları, her istasyonun istasyon zamanı farklı ise ara stoklu montaj hatlarında üretim yapılmaktadır.

*Ara stoksuz montaj hatları:* Konveyör bantlar gibi mekanik malzeme taşıma ekipmanı istasyonları esnek olmayan bir şekilde birleştirir. İş parçaları sabit bir hızda istasyondan istasyona durmadan hareket ederler veya işlemde geçtikten sonra kesintili olarak transfer edilirler. Her iki durumda da bütün istasyonlar atanmış görevi gerçekleştirmek için aynı miktarda zamana (çevrim zamanına) sahiptir.



**Şekil 2.4.** Ara stoksuz montaj hattı

Şekil 2.4’de konveyör bantla sürekli hareket eden bir montaj hattı gösterilmektedir. İş parçaları bant üzerinde eşit hacme sahiptir. Bir iş parçası bir istasyona geçerken işçi de hatla beraber hareket eder, yapılacak işi gerçekleştirir ve kendi istasyonun başlangıcına geri döner. Kesik kesik malzeme hareketi olması halinde, iş parçaları istasyonlarda bulunur ve işlem gerçekleştikten sonra bir sonraki istasyona hep beraber hareket ederler. Önemli taşıma gecikmeleri olmaması için, malzeme hareketi çok hızlı olmalı ya da bazı iş parçaları malzeme taşıma sisteminde istasyonlar arasında mevcut olmalıdır. Böyle bir sistem sınırlı tampon vazifesi görür.

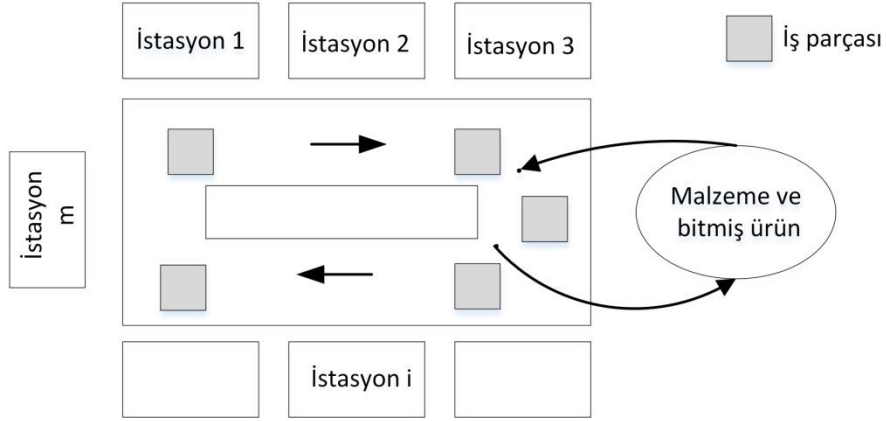
*Ara stoklu montaj hatları:* Bu hatlarda istasyonlar tampon stoklar ile ayrılmıştır. Böylece bir sonraki istasyon önceki parçayı çalışırken iş parçası stokta muhafaza edilir (Şekil 2.5). Stok kapasiteleri kısıtlandığı için bir istasyonu takip eden stok dolu ise, o istasyon üretime devam edemez. Bir sonraki istasyon stoğunda parçaya ihtiyaç duyuncaya kadar, bu istasyon boşa çıkar. Diğer bir verimsizlik tipi olan hattın beslenmemesi durumu ise mevcut işi bittikten sonra bir istasyonun girdi stoğunun boş olması ile oluşur. Bir iş parçası stoğuna gelinceye kadar istasyon boşa çıkar. Hattın beslenmemesi durumu düşük üretim oranı olduğunda veya önceki istasyonda bir arıza varsa oluşabilir. Hattın beslenmemesi durumu eğer toplam iş yükü istasyonlar arasında eşit olarak dağıtılmaz ise, ara stoksuz hatlarda da engellenemez.



**Şekil 2.5.** Ara stoklu düz montaj hattı

Ara stoklu hatlara bir alternatif yerleşim şekli de Şekil 2.6’da görülmektedir. Bu yerleşim şeklinde malzeme taşıma ekipmanı yuvarlak bir banttır ve ortak bir stok alanı bütün istasyonlara hizmet verir. İş parçaları durmadan dönerken, işçi geçen parçalardan birini alır, yapacağı işi bitirince tekrardan bant üzerine bırakır. Açıkçası böyle bir yerleşim şekli sadece

manuel istasyonları olan küçük sistemlerde uygulanabilir. Üstelik bir iş parçasının işlem görüp görmediğini belirlemek zordur.



**Şekil 2.6.** Ara stoklu yuvarlak montaj hattı (Scholl 1999)

Stok alanları ve boyutları hattın üretim oranını doğrudan etkiler. Ara stokların olmaması durumunda istasyonların arızalanması alternatif ekipman imkânı yoksa tüm hattı durdurabilir. Fazla ara stoklar ise istasyonların neredeyse tamamen bağlantısını kesmektedir. Makine arızaları ile stok boyutları arasındaki korelasyonlar araştırıldığında, hattın daha az arıza süresi olduğunda yüksek üretim oranları başarılabilir. Ancak stok alanı, malzeme taşıma ve envanter maliyetleri yüksek stok miktarları ile artmaktadır. Arıza süresi maliyetleri ve stok maliyetleri arasındaki ters ilişki, ara stok miktarını belirleme karar problemini ortaya çıkarmaktadır.

Karışık modellenli hatlar genellikle ara stoklu hatlardır. Durmadan giden konveyör bant olması durumunda bile, istasyon zamanları modelden modele değişiklik gösterir. Böylece ara stoklar değişen kapasite tedarik ve taleplerini geçici dengelemek için kullanılabilir. Doğrusu konveyör bandın kendisi de eğer istasyon uzunlukları konveyör banttaki iş parçalarının mesafesinden geniş ise bir tampon olarak hizmet verebilir. Birçok iş parçası eş zamanlı istasyonlara ulaşılabilir durumdadır ve tolerans zamanı çevrim zamanını aşar.

İstasyonların bağlantısını kesmenin etkisi bir yana, ara stoklar iş parçalarının yeniden sıralanmasına izin verir. Bu karışık modellenli hatlarda sıralama kaynaklı verimsizlikleri azaltmaya yardımcı olur. Bunun yanında ara stoklar, hattı durdurmadan kusurlu parçaların hattan çıkarılıp tamir edilmesi için kullanılabilir.

### 2.3.2.3. Operasyon süresinin tipi

Operasyon zamanları, görev ve işinin doğası gereği az veya çok değişkenlik gösterir. Basit görevler için operasyon zamanlarındaki varyansın küçük olması beklenirken, karmaşık

ve hataya duyarlı operasyonlarda uygulama zamanları değişebilir. Özellikle insanın yaptığı işlerde görev zamanları fiziksel, psikolojik ve sosyal etki faktörlerine maruz kalır. Operasyon zamanlarına göre montaj hatları üç başlık altında toplanabilir:

*Deterministik operasyon zamanı:* Çoğu montaj hattı dengeleme modeli sabitlemiş deterministik operasyon zamanlarını temel alır. Bu varsayım beklenen görev zamanlarındaki değişkenliğin yeteri kadar küçük olduğu zaman doğruluğu kanıtlanır. Çoğunlukla insanın yaptığı işlerde kullanılan montaj hattı sistemlerinde neredeyse sabit görev zamanları elde etmek için üretim yöntemleri gelişmiş ve sağlam, işçiler ise yüksek ustalıkta ve motive olmalıdır. Yüksek üretim teknolojisi otomasyonu arttırarak görev zamanlarındaki değişkenliği azaltmaktadır. Modern bilgisayar kontrollü makineler ve esnek transfer hatlarında kullanılan robotlar sabit bir hızda sürekli olarak çalışabilmektedir.

*Stokastik operasyon zamanı:* Manuel operasyon zamanlarındaki önemli varyasyonlar sistemin performansı etkileyebilmektedir. Operasyon zamanları çalışan işçilerin ustalığına ve motivasyonuna, mevcut iş hızına bağlıdır. Aşırı operasyon süreleri ara stoklu sistemlerde başarılı istasyonlarda iş beklemesine, önceki istasyonların bloke olmasına neden olur ve verimsizlik oluşur. Ara stoksuz montaj hatlarında ise istasyon zamanı çevrim süresini aştığında iş parçaları tamamlanamaz. Tüm hattın iş tamamlanıncaya kadar durdurulması, ek işçilerin çalıştırılması veya tamamlanmamış birimlerde bant dışında ek istasyonlarda mesai yapılması gibi bazı olası sonuçlar olabilmektedir. Aynı problemler hatalı parça üretiminde de artmaktadır.

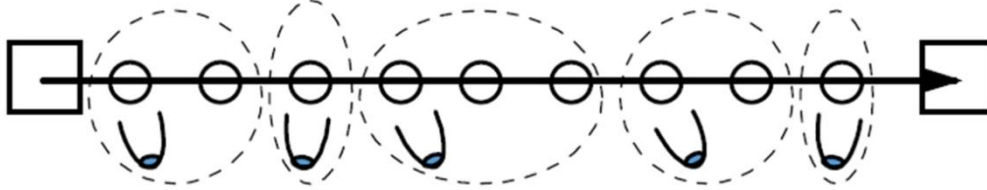
Otomatik akış hattı üretim sistemlerinde görev süreleri neredeyse sabit olmasına rağmen istasyonların değişen üretim miktarları makine arızalarına neden olabilmektedir. Ara stoksuz sistemlerde arızalar tüm hattın durmasına neden olurken, ara stoklu hatların stokları önceki ve sonraki istasyonlarda açlık durumu veya bloke oluncaya kadar üretimin sürmesine izin vermektedir. Dengeli bir modele makine arızalarını eklemek için deterministik operasyon zamanlarına makine arızalarının ve tamir sürelerinin olasılığını yansıtarak stokastik bileşen eklenerek modifiye edilebilir. Bu durum operasyon sürelerine varyasyonun yüksek bir katsayısı olarak yansıtılabilir.

*Dinamik operasyon zamanı:* Operasyon zamanlarının stokastik varyasyonlarının dışında, öğrenme etkisi veya üretim süreçlerindeki başarılı iyileştirmeler sayesinde sistematik azalmalar da mümkündür. Özellikle yeni bir montaj hattı sistemi çalışmaya başladığında, işçilerin görevleri yerine getirmesi daha uzun zaman alacaktır. Öğrenmeye bağlı süre azalmalarının derecesi ve oranı görevlerin doğasına, üretim sisteminin esnekliğine ve işçilerin nitelik seviyelerine göre değişmektedir.

#### 2.3.2.4. Hattın yerleşim şekli

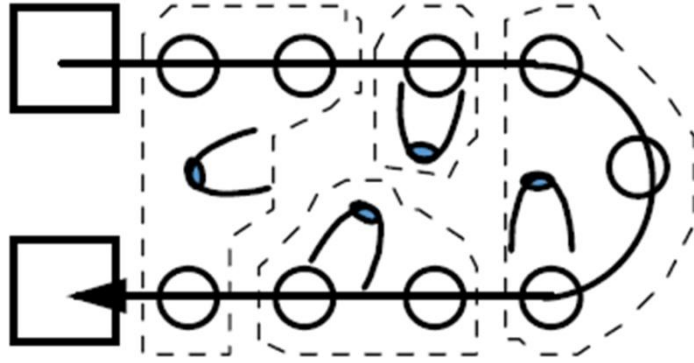
Akış üretim sistemlerinde kullanılan malzemenin akışı ile kısmen önceden belirlense de bazı yerleşim şekilleri bulunmaktadır.

*Düz montaj hatları:* Montaj hatlarının geleneksel yerleşim şeklidir. İstasyonlar düz bir çizgi üzerinde sıralanırlar (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Örnek düz montaj hattı (Chiang ve Urban 2006)

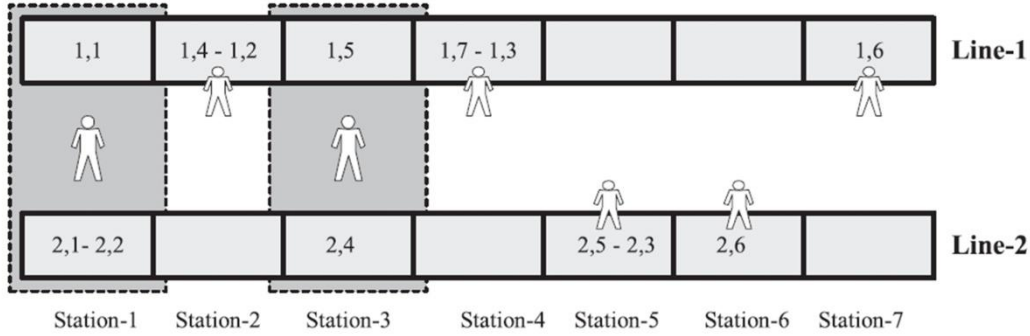
*U şekilli montaj hatları:* Hattın başlangıç ve bitiş istasyonlarının aynı tarafa yerleştirildiği ve U şekli verilerek tasarlanmış yerleşim şeklidir. Düz hatların esnek olmayan ve monoton üretim yapısının oluşturduğu dezavantajı avantaja çeviren U şekilli montaj hatlarında, işçi hattın iki tarafındaki karşılıklı duran istasyonlarda çalışabilmektedir. Bu sayede işçiler birden fazla operasyonda ustalık kazanmaktadır. İş zenginleştirmenin daha iyi uygulanabildiği bu hatlarda hem işçilerin motivasyonları hem de bandın esnekliği artmaktadır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Örnek U tipi montaj hattı (Chiang ve Urban 2006)

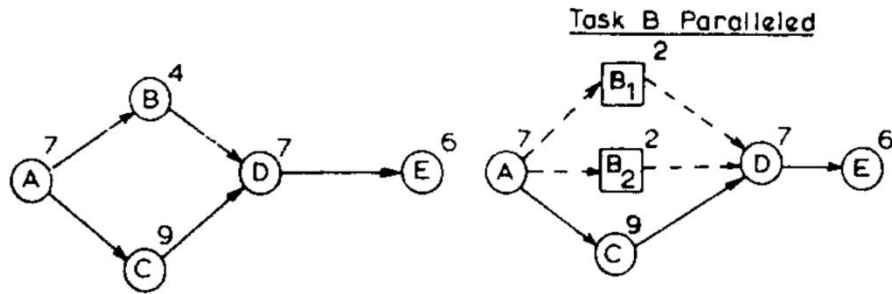
*Paralel montaj hatları:* Bir veya birden fazla ürün için hem esnekliği arttırmak hem de sistemin hatalı ürün hassasiyetini düşürmek için birden fazla paralel hatların oluşturulması avantajlı olmaktadır. Paralel hatlar yönetimin talep değişimlerine kolay tepki verebilmesini sağlamaktadır. Paralel hatlar çevrim süresinin artmasına imkân vermekte, böylece daha iyi hat dengelemesi elde edilmektedir. Paralel hatlarda yatay iş genişlemesi mümkün olmakta, işçiler birden fazla operasyon öğrenebilmektedir (Şekil 2.9).

Paralel hatların oluşturulduğu üretim sistemlerinde optimum hat sayısını bulma problemi ortaya çıkmaktadır. Buna ek olarak hat dengeleme problemi ile hangi ürün veya modellerin planlanacağı ve doğru işgücünün atanması da orta vadeli bir planlama gerektirmektedir.



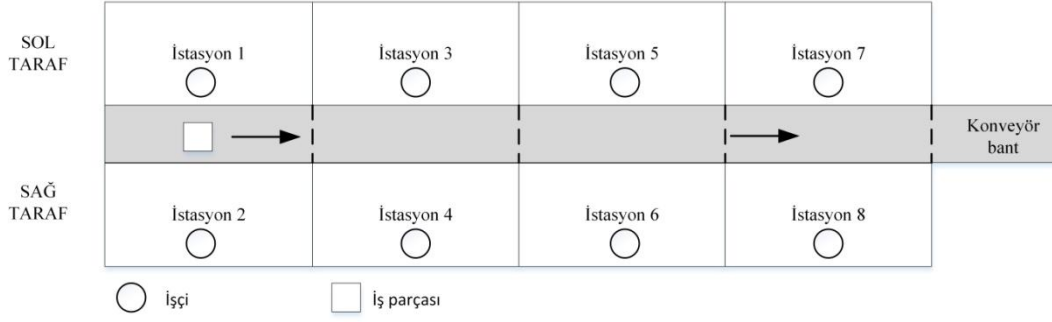
**Şekil 2.9.** Paralel montaj hattı (Baykaşoğlu ve ark. 2012)

*Paralel istasyonlar:* Paralel istasyonlar düz bir hatta bile kullanılabilir. İş parçaları aynı işlemi yapan birçok işçi arasında dağılır. Eğer bazı operasyonların süresi istenen çevrim süresinden daha yüksekse, paralel istasyonlar çevrim süresinin azaltılmasına imkân verir (Şekil 2.10).



**Şekil 2.10.** Paralel istasyonlar (Pinto ve ark. 1975)

*İki taraflı hatlar:* Ağır iş parçalarının montajında iki paralel düz hattın bulunduğu iki taraflı hatların kurulması gerekebilir. Aynı iş parçası üzerinde hem sağ hem sol hatta işlemler aynı anda gerçekleştirilir. Örneğin bir arabada sağ ve sol taraftaki tekerleklerin montajı iki taraflı hatlarda gerçekleştirilir (Şekil 2.11).



**Şekil 2.11.** İki taraflı montaj hattı (Mete ve Ağpak 2013)

*Besleme hatları ve yardımcı birimler:* Esnek üretim hatlarında, montaj hatları ürünün son montajında kullanılmaktadır. Diğer parçalar özel üretim grupları, esnek üretim hücreleri ve besleme hatları gibi farklı yardımcı birimlerde üretilmektedir. Dengeleme problemi bu hatlarda farklı üretim hatlarının senkronize edilmesi problemi ile birleşmektedir.

### 2.3.2.5. Atama kısıtlamaları

Öncelik kısıtlamaları dışında istasyonlara görevleri atarken bazı kısıtlamalar da getirilebilmektedir:

*Göreve bağlı kısıtlamalar:* Bazı durumlarda iki görev aynı istasyona veya hattın aynı bölümüne atanması istenebilmektedir. Böyle kısıtlamalar aynı çalışma ortamı gerektiren işlemlerde (örneğin sıcaklık veya nem) daha çok olmaktadır. Bu durumda iki görev arasında maksimum mesafe belirlenir. Bazı durumlarda da görevler birbirine ters olup, aynı istasyonda veya hattın aynı bölümünde bulunmaması gerekir. İki görev için minimum mesafe belirtilir. Bu kısıtlamalar sıklıkla bölge kısıtlamaları olarak da adlandırılmaktadır.

*İstasyona bağlı kısıtlamalar:* Belirli bazı görevler belirli özel makine ve ekipmanlarda yapılabilir, bu makine ve ekipmanlar sadece bir veya birkaç istasyonda bulunup, yer değişimi maliyetler nedeniyle yapılamıyorsa, söz konusu görevlerin istasyonlara atanması gerekir. Benzer sınırlamalar malzeme kaynaklı da olabilmektedir.

*Pozisyona bağlı kısıtlamalar:* İş parçalarının ağır ve büyük olduğu durumlarda, görevin iş parçasının belli bir yerinde yapılması gerekebilir. İş parçasını döndürülmesi mümkün veya ekonomik olmadığı durumlarda belli bir pozisyonda yapılması gereken görev hattın belli bir bölümünde grup çalışması olarak gerçekleştirilmelidir. Sabit iş parçaları için genellikle iki taraflı hatlar oluşturulmaktadır.

*İşçiye bağlı kısıtlamalar:* Zorluk durumuna göre görevler farklı beceri ve ustalık gerektirmektedir. Bir işçide olması gereken nitelikler ilgili istasyona atanan en karmaşık



operasyona göre belirlenir. Ayrıca işçilere verilen ücret de en karmaşık operasyona göre ödenebilmektedir. Ergonomik açıdan bakıldığında daha fazla iş tatmini sağlamak için en sabit ve en değişken işleri aynı istasyona atamak da istenebilir. Atama kısıtlarının oluşturulmasında iş genişletme ve iş zenginleştirme de düşünülebilir.

#### **2.3.2.6. Problemin çözüm amacı**

Bir montaj hattı üretim sisteminin kurulması uzun vadeli bir karardır ve genellikle büyük para yatırımı gerektirir. Bu nedenle bir sistemin doğru tasarlanması ve dengelenmesi önemlidir. Dengeleme kararlarının uzun dönemli etkisi nedeniyle yatırımın hedefleri düşünülerek kullanılan amaçların çok dikkatli seçilmesi gerekir. Amaçlar kapasiteyi, maliyetleri, kâr ile ilgili yönlerin yanında organizasyonel ve sosyal olguları da etkilemektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda genellikle bir amaç seçilmiş, diğer amaçlar ise kısıt olarak formüle edilmiştir.

*Kapasite odaklı amaçlar:* Montaj hattı dengeleme problemleri çoğunlukla kapasite kullanımını maksimize etme amacını taşımaktadır. Kapasite kullanımı ise hat etkinliği ölçülerek belirlenir. Deterministik operasyon süreleri olan tek modellenli hatlarda hat etkinliği çevrim süresi ve istasyon sayısına bağlı olmaktadır. Kapasite kullanımı ile ilgili bu amaçlar şöyle sıralanabilir:

- Verilen çevrim süresinde istasyon sayısını azaltmak,
- Verilen istasyon sayısında çevrim süresini azaltmak,
- Hem çevrim süresini hem de istasyon sayısının ağırlıklı toplamını azaltmak,
- Akış süresini azaltmak,
- İstasyonların kapasite kullanım seviyesini eşitlemek,
- Denge kaybı zamanını azaltmak,
- İş parçalarının bekleme sürelerini azaltmak.

*Maliyet odaklı amaçlar:* Hem uzun dönemli yatırım maliyetini hem de kısa dönemli işletme maliyetini içeren hattın toplam maliyetini minimize etmek en önemli amaçlardan biridir. Çevrim süresi ve istasyon sayısından etkilenen, makine ve ekipman maliyeti, işçilik maliyeti, malzeme maliyeti, boş zamanın maliyeti, ayar süresi maliyeti, stok maliyeti gibi maliyet kategorilerinde çalışmalar yapılmaktadır.

*Kâr odaklı amaçlar:* Maliyet odaklı amaçlar üretim hacmini sabit ve ürünlerin sabit bir fiyattan tamamının satıldığını varsaymaktadır. Kar odaklı amaçlarda ise üretim miktarı ve satış fiyatları da değişkenler arasında yer almaktadır.

*Sosyal ve organizasyonel amaçlar:* Bu amaçlar aslında optimize edilmesi gereken bir amaçtan çok düşünülmesi gereken kısıtları oluşturmaktadır. Bu sosyal kısıtlamalar iş genişletme veya iş zenginleştirme gibi uygulamalar ile oluşturulabilir.

### **2.3.3. Basit ve genel montaj hattı dengeleme problemleri**

Literatürde Baybars (1986) tarafından ilk defa önerilen kısıtlar ve amaçlara göre montaj hattı dengeleme problemleri iki temel sınıfa ayrılmaktadır (Baybars 1986, Boysen ve ark. 2007, Ünal 2013):

1. Basit montaj hattı dengeleme problemi BMHDP (SALBP-Simple Assembly Line Balancing Problem)
2. Genel Montaj Hattı Dengeleme Problemi GMHDP (GALBP-General Assembly Line Balancing Problem):

Basit montaj hattı dengeleme problemi üretim hattında sürekli aynı ürünün üretildiği, tek modelli, görev zamanları deterministik olan ve bazı varsayımların kabul edildiği en basit problem tipidir. MHDP ailesinde en çok bilinen ve üzerinde en çok çalışılan BMHDP'dir. BMHDP, gerçek hayatın hat dengeleme karmaşıklığını yansıtmaktan uzak olmasına rağmen, yine de problemlerin temel esaslarını içerir ve MHDP'nin özü olarak kabul edilir. Gerçekte daha genel problemlerin çeşitleri, BMHDP'nin uzantısı gibidir ve en sonunda BMHDP durumunun çözümüne ihtiyaç duyar (Supçiller 2010).

BMHDP ana problemi sadeleştiren bazı varsayımlara dayandırılmaktadır (Baybars 1986, Scholl 1999, Scholl ve Becker 2006, Boysen ve ark. 2007, Supçiller 2010). Bu varsayımlar şunlardır:

1. Tüm girdi parametreleri kesin olarak bilinmektedir.
2. Bir görev iki ya da daha fazla iş istasyonu arasında bölüşdürülemez.
3. Teknolojik sıralama ihtiyaçları nedeniyle görevler keyfi olarak sıralanamazlar. Yani problemin öncelik diyagramı bilinmektedir ve alternatif üretim yolları yoktur. Bir görev kendisinden önce gelen görevler tamamlanmadan başlayamaz.
4. Bütün görevler işlemden geçmelidir.
5. Bütün istasyonlar yeterli makine ve işgücüne sahiptir (Değişken ve sabit maliyetler tüm istasyonlar için aynı kabul edilir).
6. Görev zamanları deterministiktir. İşlemin gerçekleştiği istasyondan ve önce veya sonra gelen görevlerden bağımsızdır.

7. Öncelik ilişkisi dışında başka atama sınırlamaları yoktur. Her görev her istasyonda gerçekleştirilebilir. Konum sınırlaması, yerleşim planı sınırlaması veya bölgesel sınırlamalar yoktur.
8. Hat seri üretim hattı olup, besleme hattı ve paralel hatlar bulunmamaktadır.
9. Montaj hattında tek bir ürünün montajı büyük miktarlarda gerçekleştirilir.

Basit montaj hattı dengeleme probleminin amaç optimizasyonuna göre bir sınırlama getirilmesi durumunda farklı alt sınıfları oluşmaktadır:

BMHDP-1 (Tip 1): Bu problem tipi verilen çevrim süresi için istasyon sayısını minimize etmeyi hedeflemektedir.

BMHDP-2 (Tip 2): Bu problem tipi verilen istasyon sayısı için çevrim süresini minimize etmeyi hedeflemektedir.

BMHDP-E (Tip E): Bu problem tipi istasyon sayısı ve çevrim zamanı değiştirilebilir olduğunda hat etkinliğini maksimize etmeyi hedeflemektedir. Hat etkinliğinin maksimizasyonu da hattaki boş zamanı minimize etmektedir.

BMHDP-F (Tip F): Bu problem tipi fizibilite problemidir ve verilen bir çevrim zamanı ve istasyon sayısı için uygulanabilir bir kombinasyon olup olmadığı incelenmektedir.

Gerçekte montaj hatlarında BMHDP’de varsayıldığı gibi sadece tek model değil, çoklu veya karışık model üretimi de yapılmaktadır. Ayrıca montaj hatlarında belli görev ve istasyonları belirli bir alanda bir arada tutan bölgesel sınırlamalar, belli görevleri bir istasyonda yapma zorunluluğu, denge gecikmesi sınırlamaları, paralel istasyonlar, konum sınırlamaları, tampon bölge stokları, besleme hatları veya alt paralel hatlar olabilir. Amaç istasyon sayısını azaltmak veya üretimi arttırmak olsa da bu problemler genel montaj hattı dengeleme problemleri sınıfına girmektedir (Baybars 1986). Genel montaj hattı dengeleme problemi maliyet, ekipman seçimi, paralel hatlar, U şekilli yerleşim, robotik hatlar ve karışık modelli üretim gibi faktörlerin eklendiği daha genel problemlerdir. Yukarıda belirtilen dokuz varsayımdan beşincisi hariç, diğer tüm varsayımlardan herhangi biri veya birkaçı kullanılmadan farklı MHDP tanımlanabilir (Baybars 1986). Genel montaj hattı problemlerinden bazıları şöyledir:

Karışık montaj hattı dengeleme problemi-MALBP (Mixed Assembly Line Balancing Problem): Karışık modelli montaj hattı dengeleme problemi olup farklı çevrim zamanları ve farklı modeller için operasyonların istasyonlara atama problemidir. Kapasite ve maliyet merkezli amacı optimize etmek için problem çözümünde çevrim zamanı, istasyon sayısı ve bant dengesi bulmaya çalışır.

Karma model sıralama problemi-MSP (Mixed Model Sequencing Problem): Verimsizliklerin minimize edildiği ve modellerin en doğru sıralamasını bulmaya çalışan problem tipidir.

U hattı dengeleme problemi-UALBP (U type Assembly Line Balancing Problem): U şekilli yerleşimi olan montaj hatlarını baz alan atama problemidir.

Montaj hattı tasarım problemi (MHTP): MHTP genel montaj hattı tasarım problemlerinin daha genel halidir ve MHTP kullanılacak teknoloji ve işgücü için gerekli sabit ve değişken maliyetleri içermektedir.

#### **2.3.4. Hat dengeleme problemlerine çözüm yaklaşımları**

Karmaşıklık teorisinde “Montaj Hattı Dengeleme Problemi” NP-hard (nondeterministic polinomial time-hard) problem sınıfına girmektedir (Sarin ve ark. 1999).

Montaj hattı dengeleme problemi, ilk kez 1954 yılında Bryton tarafından, yüksek lisans tez çalışmasında ele alınmıştır. Bryton, yaptığı çalışmasında, iş istasyonu sayısının sabit, iş öğelerinin bu istasyonlar arasında hareket ettiklerini kabul etmiştir. Böylece istasyon süreleri ortak bir değere yakınlaşmaktadır. (Kilbridge ve Wester 1962, Altunay ve ark. 2017).

Montaj hattı dengelenmesi konusunda yayımlanan ilk makale, Salveson tarafından 1955 yılında yapılan çalışmadır. Bu çalışmada problemin çözümü için, istasyonlardaki toplam boş zamanı en küçükleyecek şekilde 0-1 tamsayılı programlama modeli geliştirmiştir (Ghosh ve Gagnon 1989, Eryürük ve ark. 2014). Daha sonra pek çok araştırmacı problemi farklı açılardan ele alarak, basit montaj hattı dengeleme problemlerini çözmek için çok sayıda algoritma geliştirmiştir (Boysen ve ark. 2006).

MHDP'nin çözümünde kullanılan algoritmalar 3 başlık altında toplanabilir:

1. Tam sonuç veren algoritmalar
2. Sezgiseller -Meta sezgiseller
3. Benzetim teknikleri

*Tam sonuç veren algortimalar-matematiksel modeller:* MHDP'nin çözümünde tam sonuç veren tamsayılı programlama, dinamik programlama ve dal sınır algoritması geliştirilen diğer yöntemlerdir. Bunlardan en çok tercih edilenler, Johnson (1988) tarafından geliştirilen FABLE (Fast Algorithm for Balancing Lines Effectively) algoritması ve Scholl ve Klein (1997) tarafından geliştirilen SALOME (Simple Assembly Line balancing Optimization Method) isimli algoritmalarıdır. Bu yöntemler, matematiksel programlama yöntemleri olarak da anılırlar ve en uygun sonucu verirler (Özgörmüş 2007).

*Sezgiseller:* MHDP'nin çözüm uzayının büyüklüğü ve çözüm süresinin problemin büyüklüğü ile üstel olarak artması ve operasyon sayısı arttıkça karmaşıklaşan problemin çözümünde, tam çözüm veren yöntemler yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle MHDP için çok sayıda “sezgisel yöntem” geliştirilmiştir (Acar ve Eştaş 1991, Orbak ve ark. 2008).

Literatürde yer alan belli başlı sezgisel yaklaşımlar şöyledir (Özgörmüş 2007, Orbak ve ark. 2008, Supçiller 2010):

1. Sıralı Konum Ağırlığı Yöntemi
2. En Kısa İşlem Süresi Yöntemi
3. En Uzun İşlem Süresi Yöntemi
4. Takip Eden Operasyonların Azlığı Yöntemi
5. Takip Eden Operasyonların Fazlalığı Yöntemi
6. Önceden Belirlenen Kapasiteye Göre Hat Dengeleme Yöntemi
7. Darboğaz Yöntemi
8. Kilbridge – Wester Yöntemi
9. İstatistiksel Hat Dengeleme Yöntemi
10. Sezgisel Artırımlı Verimlilik Yöntemi
11. En Büyük Küme Yöntemi (Largest Set Rule)
12. Moodie – Young Yöntemi
13. Hoffman Sezgisel Yöntemi
14. Büyükten Küçüğe Sıralanmış Puanlara Göre Atama Yöntemi
15. COMSOAL Yöntemi

*Meta sezgiseller:* Diğer bir yaklaşım şekli olan “Meta-sezgisel yöntemler”, karmaşık eniyileme problemleri için kabul edilebilir bir zaman diliminde etkin ve uygun çözümler üretebilen yaklaşık algoritmalarıdır. Meta-sezgisel yöntemler, arama sürecine rehberlik eden yaklaşımlardır. En uygun ya da en uyguna yakın çözümlerin elde edilebilmesi için arama uzayının etkin bir biçimde incelenmesi amaçlanır (Onan 2013). MHDP için kullanılan ve literatürde yer alan belli başlı meta-sezgisel yaklaşımlar ise şöyledir (Özgörmüş 2007):

1. Genetik Algoritmalar
2. Tabu Arama Algoritması
3. Tavlama Benzetimi
4. Karınca Kolonisi Optimizasyonu
5. Evrimsel Hesaplama
6. Yerel Arama

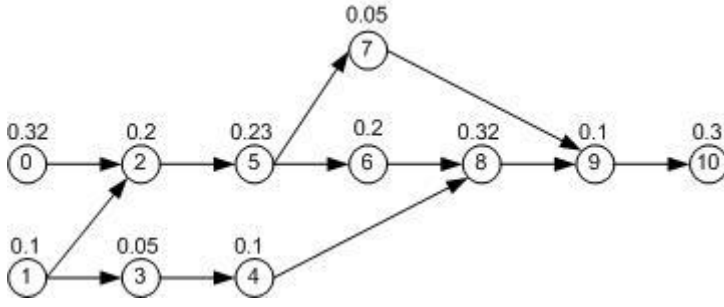
*Benzetim Teknikleri:* Benzetim teknikleri, diğere adı ile simülasyon, gerçek hayattaki veya tasarlanan bir problemi modellemenin bir yoludur. Modellemenin amacı ise oluşturulan sistemi işleterek sistemin davranışını anlayabilmek ve farklı alternatifleri deneyerek bunların sistemdeki etkisini görmektir (Takçı 2013, Bilget 2015).

Son yirmi otuz yıldır oldukça önemi artan bilgisayar destekli benzetim teknikleri zaman ve para tasarrufu sağlayarak, karmaşık üretim sistemlerinin bilgisayar ortamında canlandırılmasına, analiz edilmesine ve iyileştirilmesine olanak vermektedir. Bu sayede yöneticilere olası değişikliklerin sonuçlarını önceden göstererek karar aşamasında yardımcı olmakta, mevcut kaynakların verimli bir şekilde planlanması ve kullanılması için imkân sağlamaktadır (Orbak ve ark. 2009, Akın 2015). Ayrıca kurulması ve denenmesi çok masraflı ve hatta olanaksız olan dinamik sistemlerde ara stok düzeylerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Özgörmüş 2007).

Benzetim tekniğinde uygulamaya başlamadan önce var olan problemin doğru bir şekilde tanımlanması ve amacın belirlenmesi gerekir. Belirlenen amaç doğrultusunda veriler toplanır, verilerin doğruluğu analiz edilir. Eğer toplanılan veriler doğruysa benzetim modeli kurulur değilse veriler tekrar düzenlenir. Modelin geçerliliği ve doğruluğu test edildikten sonra model çalıştırılır ve elde edilen sonuçlar kaydedilir. Belirlenen amaç doğrultusunda alternatif modeller hazırlanır. Çalıştırılan alternatif modellerin sonuçları mevcut durum sonuçları ile karşılaştırılır. (Bahadır 2007, Akın 2015).

Hazır giyim sektöründe montaj hattı dengeleme çalışmalarında matematiksel modeller, sezgisel ve meta sezgisel yöntemler kullanılarak yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmaların bazıları farklı montaj hattı dengeleme yöntemlerinin performanslarını birbiri ile karşılaştırmaktadır. Gerçek montaj hattı problemlerini çözen uygulama çalışmalarına az rastlanılmaktadır. Bunun yanında, önerilen sezgisel yöntemlerin performansını pratik hat dengeleme yöntemlerinin performansı ile karşılaştıran çalışmalarla çok sık karşılaşılmamaktadır (Karabay 2014).

Bu çalışmanın kapsamında basit ve uygulaması kolay sezgiseller incelenecek ve daha iyi anlaşılması açısından örnek bir problem üzerinden detaylı olarak anlatılacaktır. Şekil 2.13'deki örnek problemin öncelik diyagramı görülmektedir. Operasyonlar 0 ve 10 arası numaralandırılmış ve operasyonların üzerine standart süreleri not edilmiştir. Problem için çevrim süresi 0,55 saat kabul edilmiştir.



Şekil 2.12. Örnek problem öncelik diyagramı (Wild 2002)

### 2.3.4.1. Sıralı konum ağırlığı yöntemi

Sıralı konum ağırlığı yöntemi, Helgeson ve Birnie tarafından 1961 yılında geliştirilen ve diğer alternatif metotlara göre daha hızlı, yaklaşık ve kabul edilebilir iyi çözümler veren sezgisel bir metottur. Bu metotla verilen bir çevrim süresi için istasyon sayısı ve istasyon boş süreleri hesaplanır. Bu sezgisel modele ait algoritma akış diyagramı Şekil 2.13'te verilmiştir. Yöntemin uygulama adımları şöyledir (Ergün 1985, Wild 2002):

1. Problemin öncelik diyagramı hazırlanır.
2. Her bir operasyonun pozisyonel ağırlıkları hesaplanır.
3. Pozisyon ağırlıklarına göre operasyonlar büyükten küçüğe sıralanır.
4. Pozisyon ağırlığı en yüksek olan ve önceli olmayan operasyon veya operasyonlar belirlenir.
5. Bu operasyonlar arasından pozisyon ağırlığı en yüksek olandan başlanarak ilk istasyona atama yapılır.
6. Atamadan sonra toplam istasyon süresi ve kalan istasyon süresi hesaplanır.
7. Atanabilecek operasyon grubu tespit edilir.
8. Eğer atama yapılabilen operasyonlar içinde, kalan istasyon süresine eşit sürede veya daha az süreye sahip bir operasyon veya operasyonlar varsa, içlerinde pozisyon ağırlığı en yüksek olan birinci istasyona ikinci operasyon olarak atanır. Pozisyon ağırlığı en yüksek olan süre olarak uygun değil ise, pozisyon ağırlığı yüksek olan ikinci operasyona bakılır. Süresi uygun ise o operasyon atanır.
9. Eğer atama yapılabilen operasyonlar içinde işlem süresi uygun bir operasyon yoksa birinci istasyon kapatılır, ikinci istasyon açılır.
10. Atama yapılabilen operasyonlar içinde pozisyon ağırlığı en yüksek olan operasyon seçilir ve ikinci istasyona atanır.
11. Bütün operasyonlar istasyonlara atanıncaya kadar, birinci istasyonda uygulanan atama işlemleri aynı şekilde gerçekleştirilir.

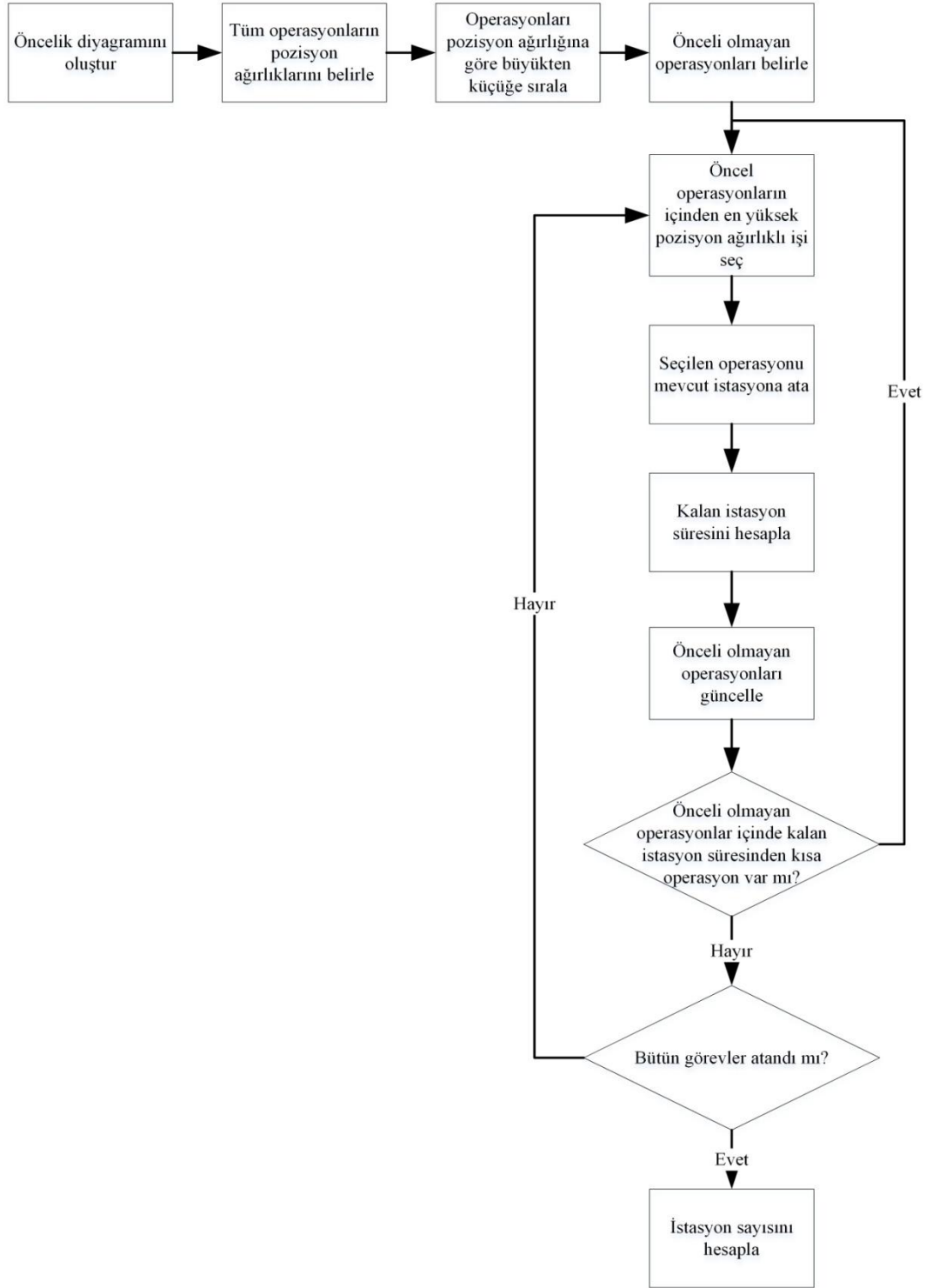
Bir operasyonun pozisyonel ağırlığı, o operasyonun kendi süresi ile kendinden sonra gelen tüm operasyonların sürelerinin toplamına eşittir. Pozisyonel ağırlık bir operasyonun, hat üzerindeki pozisyonunu gösteren bir ölçüttür (Wild 2002, Sönmez 1991). Sıralı konum ağırlığı yöntemini örnek probleme uygulandığında operasyonların pozisyonel ağırlıkları şöyle hesaplanır:

0 numaralı operasyonun pozisyon ağırlığı, kendi süresi ile 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10 numaralı operasyonların sürelerinin toplamı olup 1,72'dir. 1 numaralı operasyonun pozisyon ağırlığı, kendi süresi ile 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 numaralı operasyonların sürelerinin toplamı olup 1,65'dir. 2 numaralı operasyonun pozisyon ağırlığı, kendi süresi ile 5, 6, 7, 8, 9, 10 numaralı operasyonların sürelerinin toplamı olup 1,40'dır. Çizelge 2.1'de örnek problem için büyükten küçüğe sıralanmış konum ağırlıkları görülmektedir.

**Çizelge 2.1.** Örnek problem için büyükten küçüğe sıralanmış konum ağırlıkları tablosu (Dileep 2008, Güner ve ark. 2013)

Operasyon no	Konum Ağırlığı	Standart süresi
0	1,72	0,32
1	1,65	0,1
2	1,40	0,2
5	1,20	0,05
6	0,92	0,1
3	0,87	0,23
4	0,82	0,2
8	0,72	0,05
7	0,45	0,32
9	0,40	0,1
10	0,30	0,3





**Şekil 2.13.** Sıralı konum ağırlığı yöntemi algoritma akış diyagramı

Çizelge 2.2’de örnek problem için sıralı konum ağırlığı yöntemine göre atama çizelgesi görülmektedir. Çizelgenin üst kısmında 1’den 11’e kadar sıralanan rakamlar, atama sırasını göstermektedir. “-” işareti atama yapılmaya uygun operasyon olduğunu belirtmektedir. Örneğin 0 numaralı operasyon 1. sütunda atamaya uygun bir operasyondur. “-

\*" işareti hangi sütunda bulunuyorsa, hangi numaralı sütunda o operasyonun atamasının yapıldığını göstermektedir. Örneğin, 0 numaralı operasyon birinci sütunda "--\*" işaretine sahip olup ilk olarak atandığını göstermektedir. 1 numaralı operasyon ise ikinci sütunda "--\*" işaretine sahip olup, ikinci olarak atanan operasyon olduğu anlaşılmaktadır. "--" işareti o operasyonun atamasının yapıldığını ve bir daha atama yapılamayacağını göstermektedir. Bu işaret tabloda her zaman "--\*" işaretinden sonra yerleştirilmektedir. Ortada kalan bölümdeki rakamlar ise operasyonların en yakın öncel veya öncellerini göstermektedir. Örneğin Şekil 2.12'deki öncelik diyagramından da görüleceği üzere 7 numaralı operasyonun en yakın önceli 5 numaralı operasyondur. 5 numaralı operasyon beşinci operasyon (5. sütun) olarak atanmıştır. İlk dört sütunda 7 numaralı operasyonun en yakın önceli tabloda 5 olarak işaretlenmiştir. 5 numaralı operasyon 5. sütunda atanmasıyla birlikte 7 numaralı operasyon satırına "--" işareti kullanılarak atamaya uygun hale geldiği gösterilmiştir (Dileep 2008, Güner ve ark. 2013).

**Çizelge 2.2.** Örnek problem için sıralı konum ağırlığı yöntemine göre atama çizelgesi (Dileep 2008, Güner ve ark. 2013)

Operasyon no	Konum Ağırlığı	Standart süresi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	1,72	0,32	--*	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1	1,65	0,1	-	--*	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2	1,40	0,2	0,1	0,1	-	--*	--	--	--	--	--	--	--
5	1,20	0,05	2	2	2	-	--*	--	--	--	--	--	--
6	0,92	0,1	5	5	5	5	-	-	--*	--	--	--	--
3	0,87	0,23	1	-	--*	--	--	--	--	--	--	--	--
4	0,82	0,2	3	3	3	3	3	--*	--	--	--	--	--
8	0,72	0,05	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	6	-	--*	--	--	--
7	0,45	0,32	5	5	5	5	-	-	-	-	--*	--	--
9	0,40	0,1	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	-	--*
10	0,30	0,3	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	--*

Önceller ve pozisyonel ağırlıklar değerlendirildiğinde, 0 ve 1 numaralı operasyonlar önceli olmayan operasyonlardır. Bu iki operasyonun pozisyonel ağırlığına bakıldığında, en yüksek pozisyonel ağırlığa operasyon 0'ın sahip olduğu görülmektedir. Yönteme göre birinci istasyona 0 numaralı operasyon atanır. 0 numaralı operasyon atanınca 2 numaralı operasyon atanabilir duruma gelmektedir. Çevrim süresi 0,55 kabul edildiğinden istasyon kalan süresi  $0,55-0,32=0,23$ 'dir. Kalan istasyon süresini azaltmak üzere pozisyonel ağırlığı en yüksek ikinci operasyon da (1 numaralı operasyon) birinci istasyona atanır. 1 numaralı operasyonun

standart süresi 0,1 olup istasyon kalan süresinden çıkarılır. Kalan süre  $0,23-0,1=0,13$ 'dir. 1 numaralı operasyon atanınca 3 numaralı operasyon atanabilir bir operasyon durumuna gelmektedir.

Pozisyonel ağırlığı en yüksek üçüncü operasyon 2 numaralı operasyon olup standart süresi 0,2'dir. Standart süresi kalan istasyon süresinden yüksek olduğu için birinci istasyona atanamaz. Aynı şekilde pozisyonel ağırlığı en yüksek dördüncü ve beşinci operasyonların (Operasyon 5 ve 6) hem standart süreleri kalan istasyon süresinden yüksek hem de öncelleri bakımından atanmaya uygun değildir. Pozisyonel ağırlığı en yüksek altıncı operasyon olan 3 numaralı operasyon önceli bakımından atanmaya uygundur. 3 numaralı istasyonun standart süresi kalan istasyon süresinden kısa olduğu için birinci istasyona üçüncü operasyon olarak atanır. Kalan istasyon süresi  $0,13-0,05=0,08$  olarak tekrardan hesaplanır. 3 numaralı operasyon atanınca 4 numaralı operasyon atanabilir bir operasyon durumuna gelmektedir. Bu durumda öncel uygunluğu olan 2 ve 4 numaralı operasyonlardır. İki operasyonun da standart süreleri 0,08'den fazla olduğu için birinci istasyona başka operasyon atanamaz. Birinci istasyon kapatılır ve ikinci istasyona öncel uygunluğu olan 2 ve 4 numaralı operasyonlardan pozisyonel ağırlığı yüksek olan atanır. Atamalara bu şekilde devam edilir. Tüm operasyonlar atandıktan sonra Çizelge 2.3'deki gibi bir sonuç tablosu oluşturulur.

**Çizelge 2.3.** Sıralı konum ağırlığı yöntemi sonuç tablosu

İstasyon	Atanan Operasyon no	Konum Ağırlığı	En yakın önceli	Standart süresi	Kümülatif istasyon zamanı	Kalan istasyon süresi
1	0	1,72	-	0,32	0,32	0,23
	1	1,65	-	0,1	0,42	0,13
	3	1,40	1	0,05	0,47	0,08
2	2	1,20	0,1	0,2	0,2	0,35
	5	0,92	2	0,23	0,43	0,12
	4	0,87	3	0,1	0,53	0,02
3	6	0,82	5	0,2	0,2	0,35
	8	0,72	4,6	0,32	0,52	0,03
4	7	0,45	5	0,05	0,05	0,05
	9	0,40	7,8	0,1	0,15	0,4
	10	0,30	9	0,3	0,45	0,1

Sonuç tablosundaki son istasyon, toplam istasyon sayısını vermektedir. Sıralı konum ağırlığı yöntemine göre örnek problem 4 istasyonda gruplanarak hat dengelemesi

yapılmaktadır. Toplam istasyon sayısına göre hat verimliliği (2.4)'deki formüle göre hesaplanır:

Örnek sonuçlarına göre hesapladığımızda hat verimliliği şöyledir:

$$\text{Hattın verimliliği} = \frac{1,97}{4 * 0,55} * 100 = \%89,54$$

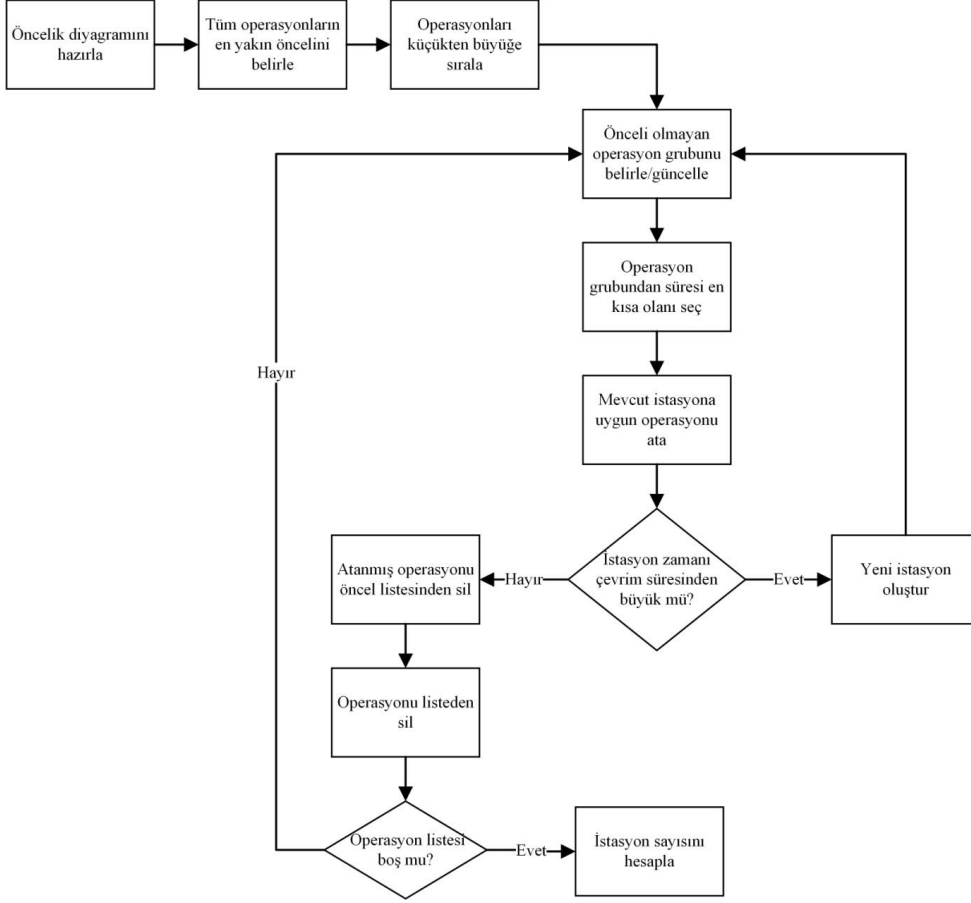
Sıralı konum ağırlığı yöntemine göre çevrim süresi 0,55 saat için 11 operasyon 4 istasyona atanabilmektedir. Kümülatif istasyon süresine bakıldığında en yüksek değerin 0,53 saat olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerin de uygun olması durumunda çevrim süresi 0,53 saate azaltılıp verimlilik %93'e yükseltilebilir. Çevrim süresinin 0,53 saat altına indirilmesi 5 istasyon kullanımını gerektirecektir (Wild 2002).

#### **2.3.4.2. En kısa işlem süresi yöntemi**

En kısa işlem süresi yönteminde verilen bir çevrim süresi için istasyon sayısı ve istasyon boş süreleri hesaplanır. Bu sezgisel modele ait algoritma akış diyagramı Şekil 2.14'te verilmiştir.

Yöntemin uygulama adımları şöyledir (Heizer ve Render 2008):

1. Öncelik diyagramı hazırlanır.
2. Her operasyonun en yakın öncelleri belirlenir.
3. Operasyonlar işlem sürelerine göre küçükten büyüğe sıralanır. (Çizelge 2.4)
4. En yakın önceli bulunmayan operasyon belirlenir.
5. En yakın önceli bulunmayan operasyon ilk istasyona atanır. (Eğer en yakın önceli bulunmayan operasyon sayısı birden fazla ise atamaya işlem süresi en küçük olandan başlanır.)
6. Atamadan sonra toplam istasyon süresi ve kalan istasyon süresi hesaplanır. (Toplam istasyon süresi çevrim süresini aşmamasına dikkat edilerek, kalan istasyon süresi sıfırlanmaya çalışılır.)
7. Atanabilecek operasyon grubu tespit edilir.
8. Atanabilecek operasyon grubu içinde işlem süresi en kısa olan operasyonun süresi kalan istasyon süresinden küçük ise o istasyona atama yapılır, değilse istasyon kapatılır.
9. Atanabilecek operasyon grubu içinde işlem süresi en kısa olan operasyonun süresi kalan istasyon süresinden büyük ise yeni bir istasyon açılır. Atamaya yeni istasyondan devam edilir.



**Şekil 2.14.** En kısa işlem süresi yöntemi algoritma akış diyagramı

Örnek problem için operasyon numarasına göre operasyonun standart süresi ve en yakın öncelleri Çizelge 2.4’de listelenmiştir.

**Çizelge 2.4.** Örnek öncelik diyagramındaki operasyonların işlem süresine göre küçükten büyüğe sıralaması

Operasyon no	Standart süresi	En yakın önceli
3	0,05	1
7	0,05	5
1	0,1	-
4	0,1	3
9	0,1	7-8
2	0,2	0-1
6	0,2	5
5	0,23	2
10	0,3	9
0	0,32	-

Kümülatif istasyon süresi 1 ve 3 numaralı operasyonların toplam işlem süresi olup  $0,1+0,05=0,15$  saattir ve çevrim süresinden küçüktür. Birinci istasyona atanabilecek operasyon grubu yeniden tespit edilir. En yakın önceli bulunmayan 0 numaralı operasyon ile 3 numaralı operasyonun atanması sonucu atanabilir hale gelen 4 numaralı operasyon, işlem süreleri uygun ise atama yapılabilir. 4 numaralı operasyonun süresi 0,1 saat, 0 numaralı istasyonun işlem süresi 0,32 saattir. Yöntem gereği, işlem süresi en kısa olan 4 numaralı operasyon 1 numaralı istasyona atanır. Kümülatif istasyon süresi 1, 3 ve 4 numaralı operasyonların toplam işlem süresi olup  $0,1+0,05+0,1=0,25$  saattir ve çevrim süresinden küçüktür. Kalan istasyon süresi  $0,4-0,1=0,3$  saat olarak hesaplanır. Birinci istasyona halen atama yapılabilir. Atanabilecek operasyon grubu yeniden tespit edilir. 4 numaralı operasyonun atanması sonucu, atanabilir hale gelen operasyon yoktur. 4 numaralı operasyondan sonra 8 numaralı operasyon gelmektedir. 8 numaralı operasyonun en yakın önceli 4 ve 6 numaralı operasyonlardır. 4 numaralı operasyon atanmış ancak 6 numaralı operasyonun ataması yapılmamıştır. Bu nedenle 8 numaralı operasyon atanabilir operasyon grubuna alınmaz. En yakın önceli bulunmayan 0 numaralı operasyon işlem süresi uygun ise atama yapılabilir. 0 numaralı istasyonun işlem süresi 0,32 saattir. Birinci istasyona atanması durumunda kümülatif işlem süresi  $0,1+0,05+0,1+0,32=0,57$  saat olmakta ve çevrim süresini aşmaktadır. Bu durumda 0 numaralı operasyon da birinci istasyona atanamaz. Birinci istasyon kapatılır, ikinci istasyon açılıp atamaya devam edilir.

Problemin çözümünü kolaylaştırmak için her atama sonrası kalan operasyonların en yakın öncelleri bir çizelgede özetlenir.

**Çizelge 2.5.** En kısa işlem süresi yöntemine göre örnek problem için atama çizelgesi

Atanabilir operasyonlar		0-1	0-3	0-4	0	2	5	6-7	6	8	9	10
Operasyon no	Standart süresi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	0,05	1	-*	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7	0,05	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
1	0,10	-*	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4	0,10	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
9	0,10	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
2	0,20	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
6	0,20	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	0,23	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
10	0,30	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
0	0,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	0,32	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6

Çizelge 2.5'te operasyonlar işlem süresine göre küçükten büyüğe sıralanmış ve operasyonların en yakın öncelleri ve atama sıraları çizelgede işaretlenmiştir. Anlatımın daha açık olması amacıyla atama sırasının üstüne, her atamada hangi operasyonların atanabilir olduğu gösterilmiştir. Bu operasyonlardan işlem süresi uygun olanın ataması yapılmıştır.

**Çizelge 2.6.** Örnek problemin en kısa işlem süresi yöntemine göre sonuç tablosu

İstasyon no	Operasyon no	En yakın önceli	Standart süresi	Kümülatif istasyon zamanı	Kalan istasyon süresi
1	1	-	0,1	0,1	0,45
	3	1	0,05	0,15	0,4
	4	3	0,1	0,25	0,3
2	0	-	0,32	0,32	0,23
	2	0	0,2	0,52	0,03
3	5	2	0,23	0,23	0,32
	7	5	0,05	0,28	0,27
	6	5	0,2	0,48	0,07
4	8	4-6	0,32	0,32	0,23
	9	8	0,1	0,42	0,13
5	10	9	0,3	0,3	0,25

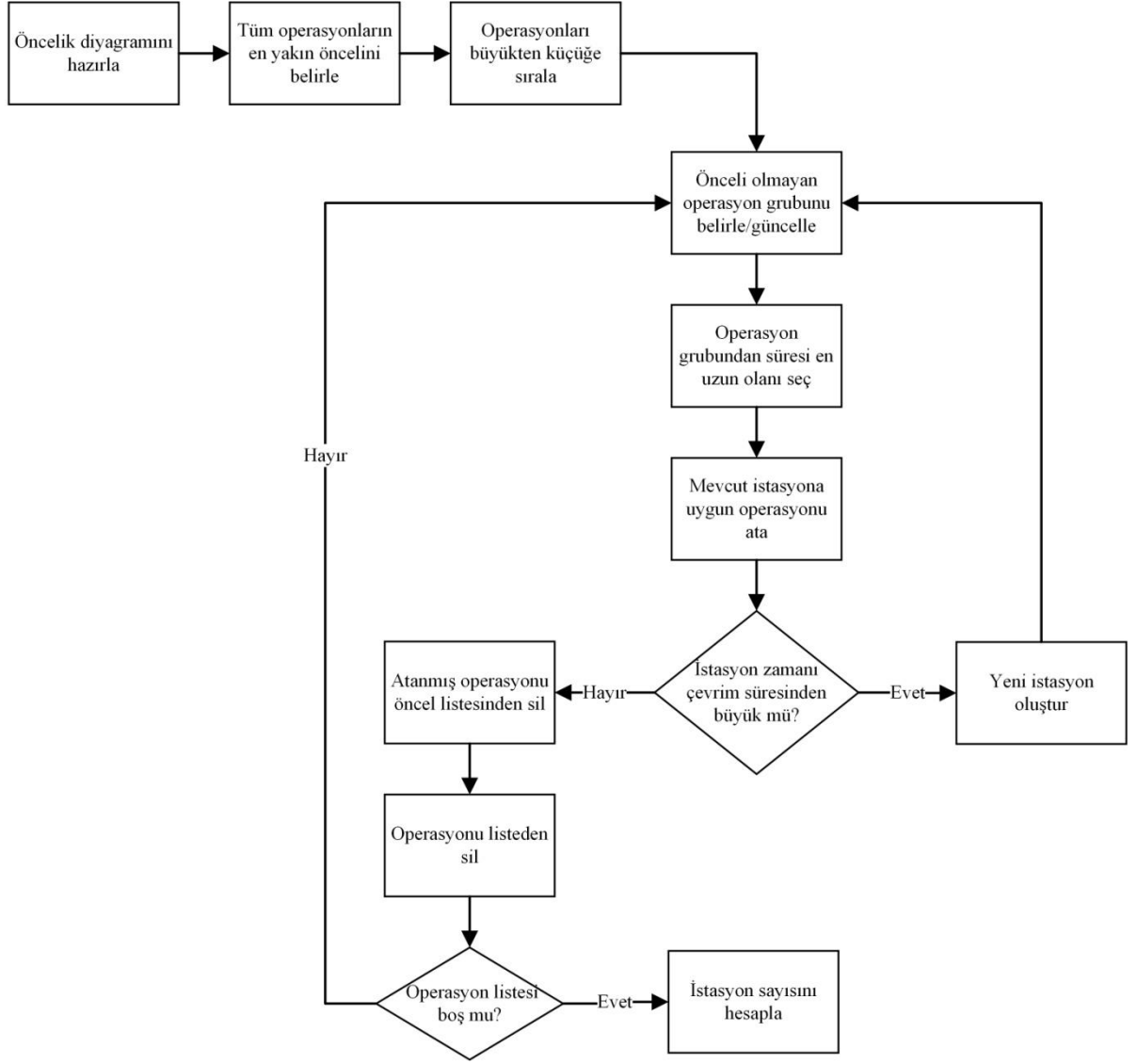
Tüm operasyonlar atandıktan sonra Çizelge 2.6'daki gibi bir sonuç tablosu oluşturulur. Sonuç tablosundaki son istasyon, toplam istasyon sayısını vermektedir. En kısa işlem süresi yöntemine göre örnek problem 5 istasyonda gruplanarak hat dengelemesi yapılmıştır. Toplam istasyon sayısına göre hat verimliliği (2.4) formülündeki gibi hesaplanır:

Örnek sonuçlarına göre hesapladığımızda hat verimliliği şöyledir:

$$Hattın\ verimliliği = \frac{1,97}{5 * 0,55} * 100 = \%71,63$$

### 2.3.4.3. En uzun işlem süresi yöntemi

En uzun işlem süresi yönteminde istasyon sayısı ve istasyon boş süreleri verilen bir çevrim süresi için hesaplanır. Bu sezgisel modele ait algoritma akış diyagramı Şekil 2.15'te verilmiştir.



**Şekil 2.15.** En uzun işlem süresi yöntemi algoritma akış diyagramı

Algoritma akış diyagramı incelendiğinde en uzun işlem yöntemi, en kısa işlem süresi yöntemi ile neredeyse aynıdır. Aralarındaki tek fark operasyonların işlem süresine göre farklı sıralanması ve işlem süresinin uzun veya kısa olmasına göre atanmasıdır.

Yöntemin uygulama adımları şöyledir (Heizer ve Render 2008):

1. Öncelik diyagramı hazırlanır.
2. Her operasyonun en yakın öncelleri belirlenir.
3. Operasyonlar işlem sürelerine göre büyükten küçüğe sıralanır.
4. En yakın önceli bulunmayan operasyon veya operasyonlar belirlenir.
5. En yakın önceli bulunmayan operasyon ilk istasyona atanır. (Eğer en yakın önceli bulunmayan operasyon sayısı birden fazla ise atamaya işlem süresi en büyük olandan başlanır.)



6. Atamadan sonra toplam istasyon süresi ve kalan istasyon süresi hesaplanır (Toplam istasyon süresi çevrim süresini aşmamasına dikkat edilerek, kalan istasyon süresi sıfırlanmaya çalışılır).
7. Atanabilecek operasyon grubu tespit edilir.
8. Atanabilecek operasyon grubu içinde işlem süresi en kısa olan operasyonun süresi kalan istasyon süresinden küçük ise o istasyona atama yapılır, değilse istasyon kapatılır.
9. Atanabilecek operasyon grubu içinde işlem süresi en kısa olan operasyonun süresi kalan istasyon süresinden büyük ise yeni bir istasyon açılır. Atamaya yeni istasyondan devam edilir.

**Çizelge 2.7.** Örnek problemde operasyonların büyükten küçüğe sıralanması

Operasyon no	Standart süresi	En yakın önceli
0	0,32	-
8	0,32	4-6
10	0,3	9
5	0,23	2
2	0,2	0-1
6	0,2	5
1	0,1	-
4	0,1	3
9	0,1	7-8
3	0,05	1
7	0,05	5

En uzun işlem yöntemini örnek probleme uyguladığımızda, Çizelge 2.7’de operasyonların büyükten küçüğe sıralaması ve en yakın öncelleri görülmektedir. 0 ve 1 numaralı operasyonların en yakın önceli bulunmamaktadır. 0 numaralı operasyonun işlem süresi daha büyük olduğu için atamaya bu operasyondan başlanır. 0 numaralı operasyon birinci istasyona atanır. Atamadan sonra toplam istasyon süresi 0 numaralı operasyonu süresine eşit olup 0,32 saattir. Kalan istasyon süresi ise  $0,55-0,32=0,23$  saat olarak hesaplanır. Toplam istasyon süresi çevrim süresinden küçük olduğu için atamaya devam edilir.

Birinci istasyona atanabilecek yeni operasyon grubu tespit edilir. 2 numaralı operasyonun en yakın önceli 0 ve 1 numaralı operasyonlardır. 0 numaralı operasyon atanmış, ancak 1 numaralı operasyon atanmadığı için 2 numaralı operasyon atanabilir durumda olmaz. Bu durumda sadece en yakın önceli bulunmayan 1 numaralı operasyon işlem süresi de uygun ise atama yapılabilir. 1 numaralı istasyonun işlem süresi 0,1 saat olup kalan istasyon süresinden az olduğu için birinci istasyona atanır. Kalan istasyon süresi  $0,23-0,1=0,13$  saat olarak hesaplanır. Toplam istasyon süresi 0 ve 1 numaralı operasyonların sürelerinin toplamı

olup  $0,32+0,1=0,42$  saattir. Toplam istasyon süresi çevrim süresinden küçük olduğu için atamaya devam edilir. Birinci istasyona atanabilecek yeni operasyon grubu tespit edilir. 0 ve 1 numaralı operasyonlar atanınca 2 ve 3 numaralı operasyonlar işlem süreleri sırasıyla 0,2 saat ve 0,05 saat olmak üzere atanabilir duruma gelmiştir. 2 numaralı operasyonun işlem süresi kalan istasyon süresinden yüksek olduğu için atanamaz. 3 numaralı operasyonun işlem süresi kalan istasyon süresinden az olduğu için birinci istasyona atanır. Kalan istasyon süresi  $0,13-0,05=0,08$  saat olarak hesaplanır.

Kalan istasyon süresini sıfırlamak için, 1 numaralı istasyona atanabilecek operasyon grubu yeniden tespit edilir. 3 numaralı operasyon atanınca 4 numaralı operasyon atanabilir duruma gelmiştir. 2 numaralı operasyon ile 4 numaralı operasyon, işlem süreleri uygun ise atama yapılabilir. 4 numaralı operasyonun süresi 0,1 saat, 2 numaralı istasyonun işlem süresi 0,2 saattir. Her iki operasyonun işlem süresi kalan istasyon süresinden yüksek olduğu için atama yapılamaz. Birinci istasyon kapatılıp yeni bir istasyon açılır.

**Çizelge 2.8.** En uzun işlem süresi yöntemine göre örnek problem için atama tablosu

Atanabilir operasyonlar		0-1	1	2-3	2-4	4-5	4-6-7	6-7	7-8	7	9	10
Operasyon no	Standart süresi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0,32	-*	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8	0,32	4-6	4-6	4-6	4-6	4-6	4-6	4-6	4-6	4-6	4-6	4-6
10	0,30	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10
5	0,23	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	0,20	1	1	-	-*	--	--	--	--	--	--	--
6	0,20	5	5	5	5	-	-	-*	--	--	--	--
1	0,10	-	-*	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4	0,10	3	3	3	-	-	-*	--	--	--	--	--
9	0,10	7-8	7-8	7-8	7-8	7-8	7-8	7-8	7-8	7-8	7	7
3	0,05	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	0,05	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Problemi çözerken her atama sonrası en yakın önceller Çizelge 2.8’de özetlenmiştir. Tüm operasyonlar atandıktan sonra Çizelge 2.9’daki gibi bir sonuç çizelgesi oluşturulur. Sonuç tablosundaki son istasyon, toplam istasyon sayısını vermektedir.

**Çizelge 2.9.** En uzun işlem süresi yöntemine göre örnek problem sonuç çizelgesi

İstasyon no	Operasyon no	Standart süresi	En yakın önceli	Kümülatif istasyon zamanı	Kalan istasyon süresi
1	0	0,32	-	0,32	0,23
	1	0,1	-	0,42	0,13
	3	0,05	1	0,47	0,08
2	2	0,2	0-1	0,2	0,35
	5	0,23	2	0,43	0,12
	4	0,1	3	0,53	0,02
3	6	0,2	5	0,2	0,35
	8	0,32	4-6	0,52	0,03
4	7	0,05	5	0,05	0,5
	9	0,1	7-8	0,15	0,35
	10	0,3	9	0,45	0,05

En uzun işlem süresi yöntemine göre örnek problemin 4 istasyonda gruplanarak hat dengelemesi yapılmaktadır. Toplam istasyon sayısına göre hat verimliliği (2.4)'deki formüle göre hesaplanır:

Örnek sonuçlarına göre hesapladığımızda hat verimliliği şöyledir:

$$\text{Hattın verimliliği} = \frac{1,97}{4 * 0,55} * 100 = \%89,54$$

#### 2.3.4.4. Takip eden operasyonların azlığı yöntemi

Takip eden operasyonların azlığı yönteminde verilen bir çevrim süresi için istasyon sayısı ve istasyon boş süreleri hesaplanır. Bu yöntemde aşağıdaki adımlar uygulanır (Heizer ve Render 2008):

1. Her operasyonun kendinden sonra gelen operasyonların toplam sayısı bulunur.
2. Operasyonların en yakın öncelleri belirlenir.
3. Operasyonlar kendinden sonra gelen operasyonların toplam sayısı baz alınarak küçükten büyüğe sıralanır.
4. En yakın önceli olmayan operasyon veya operasyonlar belirlenir.
5. En yakın önceli olmayan operasyon grubu içinde, kendinden sonra gelen operasyon sayısı en az olan istasyona atanır.
6. İlk atamadan sonra operasyonun işlem süresi, belirlenen çevrim süresinden çıkarılarak kalan istasyon süresi hesap edilir.
7. Atanan operasyon atama listesinden çıkarılır.

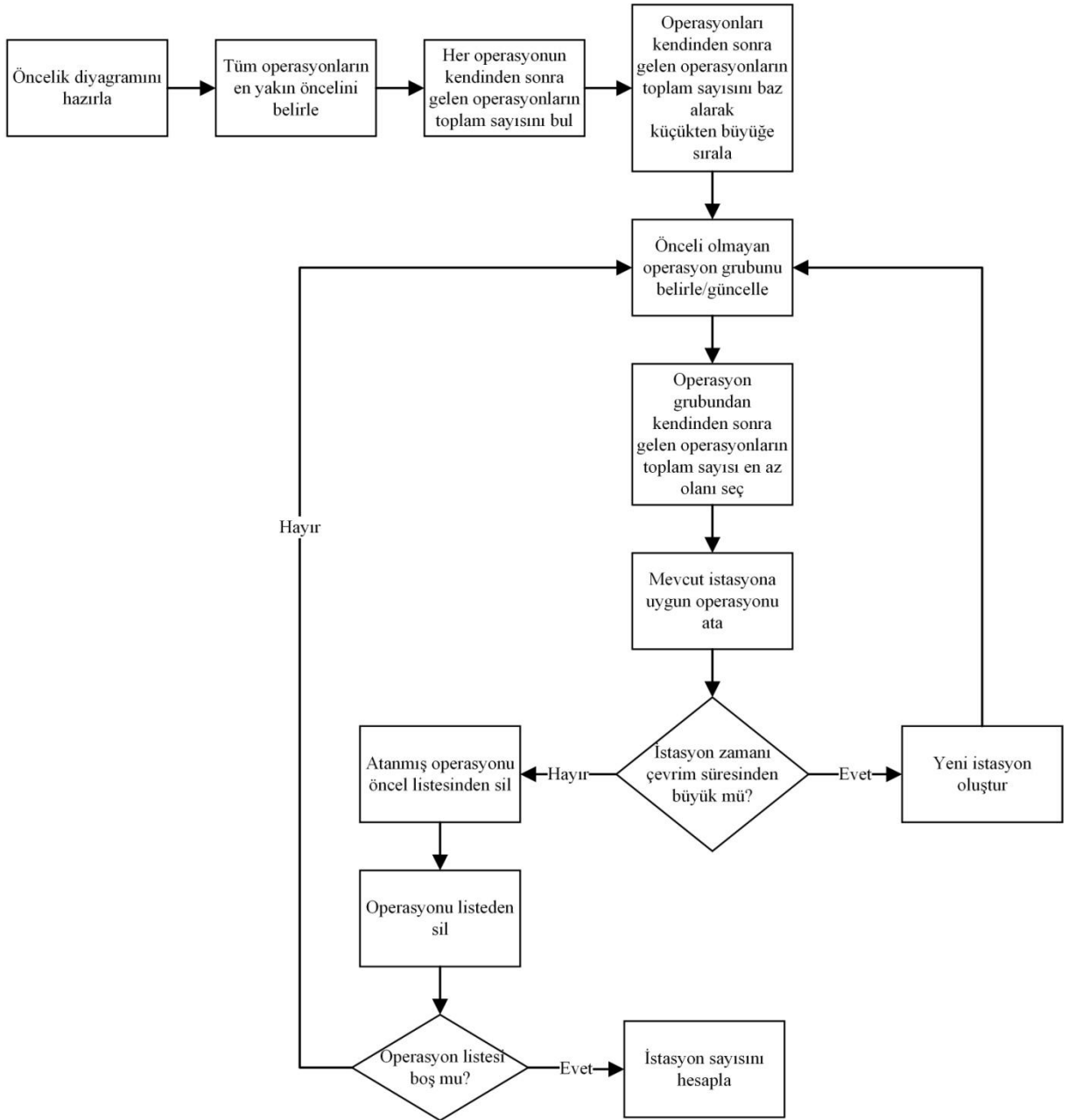
8. Aynı istasyona atamalar, çevrim süresini aşmayacak şekilde 4, 5, 6 ve 7. adımlar yeniden uygulanarak devam edilir.
9. Atama yapılabilen operasyonlar içinde işlem süresi uygun bir operasyon yoksa birinci istasyon kapatılır, ikinci istasyon açılır. Atamalar 4, 5, 6, 7 ve 8. adımlar yeniden uygulanarak devam edilir.

Bütün operasyonlar atandığında hat dengeleme tamamlanmış olur. Son istasyon toplam istasyon sayısını verir. Toplam istasyon sayısına göre hat verimliliği (2.4)'deki formüle göre hesaplanır. Bu sezgisel modele ait algoritma akış diyagramı Şekil 2.16'da verilmiştir.

Yöntemi örnek probleme uyguladığımızda, her operasyonun kendinden sonra gelen operasyonlar belirlenir ve öncelik diyagramı üzerinden sayım yapılır. Örneğin, 0 numaralı operasyonun, kendisinden sonra gelen operasyonlar sırasıyla 2, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 numaralı operasyonlardır ve toplam yedi adettir. 1 numaralı operasyonun, kendisinden sonra gelen operasyonlar sırasıyla 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 numaralı operasyonlardır ve toplam dokuz adettir. 2 numaralı operasyonun, kendisinden sonra gelen operasyonlar sırasıyla 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 numaralı operasyonlardır ve toplam altı adettir. Çizelge 2.10'da örnek problemdeki operasyonların en yakın öncelleri, kendinden sonra gelen operasyon sayıları ve standart süreleri listelenmiştir.

**Çizelge 2.10.** Takip eden operasyonların azlığı yöntemine göre örnek problem için kendinden sonra gelen operasyon sayısı

Operasyon no	En yakın önceli	Standart süresi	Kendinden sonra gelen operasyon sayısı
0	-	0,32	7
1	-	0,1	9
2	0,1	0,2	6
3	1	0,05	4
4	3	0,1	3
5	2	0,23	5
6	5	0,2	3
7	5	0,05	2
8	4,6	0,32	2
9	7,8	0,1	1
10	9	0,3	0



**Şekil 2.16.** Takip eden operasyonların azlığı yöntemi algoritma akış diyagramı

Kendinden sonra gelen operasyon sayıları temel alınarak operasyonlar küçükten büyüğe sıralanır. Kendinden sonra gelen operasyon sayısına göre küçükten büyüğe sıralanmış liste ile boş atama çizelgesi oluşturulur ve atamaya başlanır.

0 ve 1 numaralı operasyonlar en yakın önceli olmayan iki operasyon olup kendinden sonra gelen operasyon sayısı sırasıyla 7 ve 9'dur. Yöntem gereği kendinden sonra gelen operasyon sayısı az olan 0 numaralı operasyon birinci istasyona ilk olarak atanır. İlk atamadan sonra operasyonun işlem süresi belirlenen çevrim süresinden çıkarılarak kalan istasyon süresi ve toplam istasyon süresi hesaplanır. Kalan istasyon süresi  $0,55-0,32=0,23$  saat olarak

hesaplanır. Toplam istasyon süresi ise 0 numaralı istasyonun süresi olup 0,32 saattir. Kalan istasyon süresine azaltmak için atanabilecek operasyonlar belirlenir. En yakın önceli olmayan operasyon sadece 1 numaralı operasyondur. 1 numaralı operasyonun standart süresi 0,1 saat olup birinci istasyona atanabilir durumdadır. 1 numaralı operasyon birinci istasyona atanır. Kalan istasyon süresi  $0,23-0,1=0,13$  saat olarak hesaplanır. Toplam istasyon süresi 0 ve 1 numaralı operasyonların standart süreleri toplamı olup  $0,32+0,1=0,42$  saattir.

0 ve 1 numaralı operasyonların atanması ile 2 ve 3 numaralı operasyonlar atanabilir duruma gelmiştir. Üçüncü atama işlemi için kendinden sonra gelen operasyon sayısı az olan 3 numaralı operasyona öncelik verilir. Standart süresinin kalan istasyon süresinden az olduğu için 3 numaralı operasyon birinci istasyona atanır. Kalan istasyon süresi  $0,13-0,05=0,08$  saat olarak hesaplanır.

3 numaralı operasyonun atanması ile 4 numaralı operasyon atanabilir duruma gelmiştir. Bu durumda en yakın önceli olmayan operasyon 2 ve 4 numaralı operasyonlardır. Her iki operasyonun standart süresi kalan istasyon süresinden büyük olduğu için atama yapılamaz. Birinci istasyon kapatılır, ikinci istasyon açılır. Kendinden sonra gelen operasyon sayısı az olan 4 numaralı operasyon ikinci istasyona ilk olarak atanır. Atamalara bu şekilde devam edilir. Çizelge 2.11’de atama çizelgesinin tamamlanmış hali görülmektedir.

**Çizelge 2.11.** Takip eden operasyonların azlığı yöntemi için tamamlanmış atama çizelgesi

Operasyon no	Standart süresi	Kendinden sonra gelen operasyon sayısı	En yakın önceli	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
10	0.3	0	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	-*	
9	0.1	1	7,8	7,8	7,8	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	-*	--
8	0.32	2	4,6	4,6	4,6	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	-*	--
7	0.05	2	5	5	5	5	5	5	5	5	-*	--	--	--	--	--
6	0.2	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	-*	--	--	--	--
4	0.1	3	3	3	3	3	-*	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3	0.05	4	1	1	1	-*	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5	0.23	5	2	2	2	2	2	2	2	-*	--	--	--	--	--	--
2	0.2	6	0,1	0,1	0,1	-	-	-*	--	--	--	--	--	--	--	--
0	0.32	7	-	-*	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1	0.1	9	-	-	-*	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tüm operasyonlar atandıktan sonra Çizelge 2.12’deki gibi bir sonuç çizelgesi oluşturulur.

**Çizelge 2.12.** Takip eden operasyonların azlığı örnek problem sonuç çizelgesi

İstasyon	Atanan Operasyon no	En yakın önceli	Standart süresi	Kümülatif istasyon zamanı	Kalan istasyon süresi
1	0	-	0,32	0,32	0,23
	1	-	0,1	0,42	0,13
	3	1	0,05	0,47	0,08
2	4	0,1	0,1	0,1	0,45
	2	0,1	0,2	0,3	0,25
	5	2	0,23	0,53	0,02
3	7	5	0,05	0,05	0,5
	6	5,0	0,2	0,25	0,3
4	8	4,6	0,32	0,32	0,23
	9	7,8	0,1	0,42	0,13
5	10	9	0,3	0,3	0,25

Sonuç tablosundaki son istasyon, toplam istasyon sayısını vermektedir. Bu yöntemle göre örnek problem, 5 istasyonda gruplanarak hat dengelemesi yapılmaktadır. Toplam istasyon sayısına göre hat verimliliği hesaplanır:

$$\text{Hattın verimliliği} = \frac{1,97}{5 * 0,55} * 100 = \%71,63$$

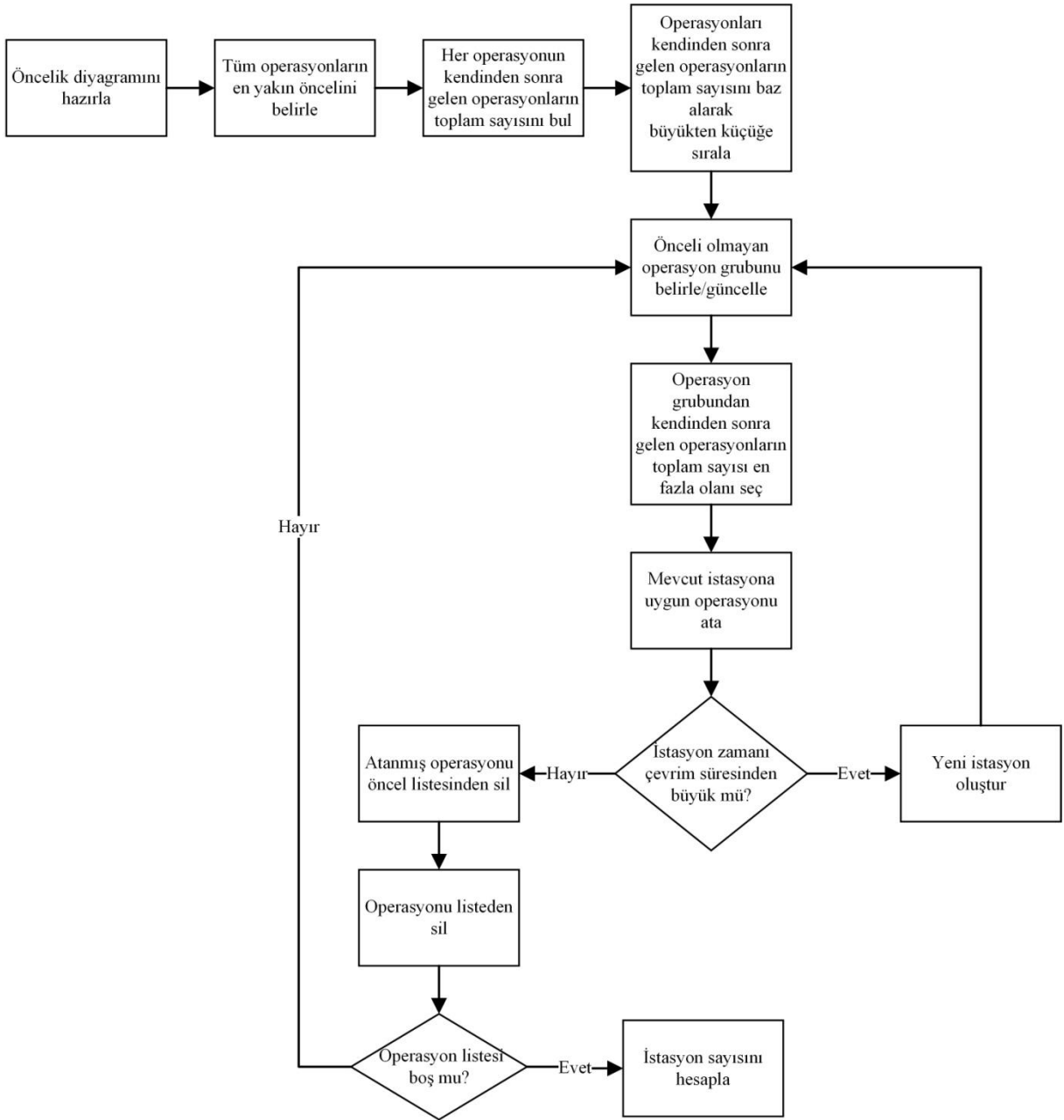
#### 2.3.4.5. Takip eden operasyonların fazlalığı yöntemi

Takip eden operasyonların fazlalığı yönteminde verilen bir çevrim süresi için istasyon sayısı ve istasyon boş süreleri hesaplanır. Bu yöntemde aşağıdaki adımlar uygulanır (Heizer ve Render 2008):

1. Her operasyonun kendinden sonra gelen operasyonların toplam sayısı bulunur.
2. Operasyonların en yakın öncelleri belirlenir.
3. Operasyonlar kendinden sonra gelen operasyonların toplam sayısı baz alınarak büyükten küçüğe sıralanır.
4. En yakın önceli olmayan operasyon veya operasyonlar belirlenir.
5. En yakın önceli olmayan operasyon grubu içinde, kendinden sonra gelen operasyon sayısı en fazla olan istasyona atanır.
6. İlk atamadan sonra operasyonun işlem süresi, belirlenen çevrim süresinden çıkarılarak kalan istasyon süresi hesap edilir.
7. Atanan operasyon atama listesinden çıkarılır.
8. Aynı istasyona atamalar, çevrim süresini aşmayacak şekilde 4, 5, 6 ve 7. adımlar yeniden uygulanarak devam edilir.

9. Atama yapılabilen operasyonlar içinde işlem süresi uygun bir operasyon yoksa birinci istasyon kapatılır, ikinci istasyon açılır. Atamalar 4, 5, 6, 7 ve 8. adımlar yeniden uygulanarak devam edilir.
10. Bütün operasyonlar atandığında hat dengeleme tamamlanmış olur. Son istasyon toplam istasyon sayısını verir. Toplam istasyon sayısına göre hat verimliliği (2.4)'deki formüle göre hesaplanır.

Bu sezgisel modele ait algoritma akış diyagramı Şekil 2.17'de verilmiştir.



Şekil 2.17. Takip eden operasyonların fazlalığı yöntemi algoritma akış diyagramı



Yöntemi örnek probleme uyguladığımızda, her operasyonun kendinden sonra gelen operasyonlar belirlenir ve öncelik diyagramı üzerinden sayım yapılır. Örneğin, 0 numaralı operasyonun, kendisinden sonra gelen operasyonlar sırasıyla 2, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 numaralı operasyonlardır ve toplam yedi adettir. 1 numaralı operasyonun, kendisinden sonra gelen operasyonlar sırasıyla 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 numaralı operasyonlardır ve toplam dokuz adettir. 2 numaralı operasyonun, kendisinden sonra gelen operasyonlar sırasıyla 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 numaralı operasyonlardır ve toplam altı adettir.

Takip eden operasyonların azlığı yönteminde örnek problemdeki operasyonların en yakın öncelleri, kendinden sonra gelen operasyon sayıları ve standart süreleri Çizelge 2.13'de listelenmiştir. Kendinden sonra gelen operasyon sayısına göre büyükten küçüğe sıralanmıştır.

**Çizelge 2.13.** Takip eden operasyonların fazlalığı yöntemine göre örnek problem için kendinden sonra gelen operasyon sayısı

Operasyon no	En yakın önceli	Standart süresi	Kendinden sonra gelen operasyon sayısı
0	-	0,32	7
1	-	0,1	9
2	0,1	0,2	6
3	1	0,05	4
4	3	0,1	3
5	2	0,23	5
6	5	0,2	3
7	5	0,05	2
8	4,6	0,32	2
9	7,8	0,1	1
10	9	0,3	0

0 ve 1 numaralı operasyonlar en yakın önceli olmayan iki operasyon olup kendinden sonra gelen operasyon sayısı sırasıyla 7 ve 9'dur. Yöntem gereği kendinden sonra gelen operasyon sayısı fazla olan 1 numaralı operasyon birinci istasyona ilk olarak atanır. İlk atamadan sonra operasyonun işlem süresi belirlenen çevrim süresinden çıkarılarak kalan istasyon süresi ve toplam istasyon süresi hesaplanır. Kalan istasyon süresi  $0,55-0,1=0,45$  saattir. Toplam istasyon süresi ise 1 numaralı istasyonun süresi olup 0,1 saattir. 1 numaralı operasyon atanınca 3 numaralı operasyon atanabilir duruma gelir. Böylece en yakın önceli olmayan operasyon 0 ve 3 numaralı operasyonlardır. 0 numaralı operasyonun kendinden sonra gelen operasyon toplam sayısı yedi, 3 numaralı operasyonun ise dördür. Bu durumda öncelik 0 numaralı operasyona verilir. 0 numaralı operasyonun standart süresi 0,1 saat olup kalan istasyon süresinden azdır. 0 numaralı operasyon birinci istasyona atanır. Kalan istasyon

süresi  $0,45-0,32=0,13$  saat olarak hesaplanır. Toplam istasyon süresi 0 ve 1 numaralı operasyonların standart süreleri toplamı olup  $0,32+0,1=0,42$  saattir.

0 ve 1 numaralı operasyonların atanması ile 2 ve 3 numaralı operasyonlar atanabilir duruma gelmiştir. Üçüncü atama işlemi için kendinden sonra gelen operasyon sayısı fazla olan 2 numaralı operasyona öncelik verilir. Ancak 2 numaralı operasyonun standart süresi kalan istasyon süresinden fazla olduğu için atamaya uygun değildir. 3 numaralı operasyon standart süresi 0,05 saat olduğu için atamaya uygundur ve birinci istasyona atanır. Kalan istasyon süresi  $0,13-0,05=0,08$  saat olarak hesaplanır.

3 numaralı operasyonun atanması ile 4 numaralı operasyon atanabilir duruma gelmiştir. Bu durumda en yakın önceli olmayan operasyon 2 ve 4 numaralı operasyonlardır. Her iki operasyonun standart süresi kalan istasyon süresinden büyük olduğu için atama yapılamaz. Birinci istasyon kapatılır, ikinci istasyon açılır. Kendinden sonra gelen operasyon sayısı fazla olan 2 numaralı operasyon ikinci istasyona ilk olarak atanır. Atamalara bu şekilde devam edilir. Çizelge 2.14'te atama çizelgesinin tamamlanmış hali görülmektedir.

**Çizelge 2.14.** Takip eden operasyonların fazlalığı yöntemi örnek problem atama çizelgesi

Operasyon no	Standart süresi	Kendinden sonra gelen operasyon sayısı	En yakın önceli	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0,1	9	-	-*	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0	0,32	7	-	-	-*	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2	0,2	6	0,1	0,1	-	-	-*	--	--	--	--	--	--	--
5	0,23	5	2	2	2	2	-	-*	--	--	--	--	--	--
3	0,05	4	1	-	-	-*	--	--	--	--	--	--	--	--
6	0,2	3	5	5	5	5	5	-	-	-*	--	--	--	--
4	0,1	3	3	3	3	-	-	-	-*	--	--	--	--	--
8	0,32	2	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	-	-*	--	--	--
7	0,05	2	5	5	5	6	6	-	-	-	-	-*	--	--
9	0,1	1	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
10	0,3	0	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	11	10

Tüm operasyonlar atandıktan sonra Çizelge 2.15'deki gibi bir sonuç tablosu oluşturulur.

**Çizelge 2.15.** Takip eden operasyonların fazlalığı yöntemi örnek problem sonuç tablosu

İstasyon	Atanan Operasyon no	En yakın önceli	Standart süresi	Kümülatif istasyon zamanı	Kalan istasyon süresi
1	1	-	0,1	0,1	0,45
	0	-	0,32	0,42	0,13
	3	1	0,05	0,47	0,08
2	2	0,1	0,2	0,2	0,35
	5	2	0,23	0,43	0,12
	4	3	0,1	0,53	0,02
3	6	5,0	0,2	0,2	0,35
	8	4,6	0,32	0,52	0,03
4	7	5	0,05	0,05	0,5
	9	7,8	0,1	0,15	0,4
	10	9	0,3	0,3	0,1

Sonuç tablosundaki son istasyon, toplam istasyon sayısını vermektedir. Bu yöntemle göre örnek problem 4 istasyonda gruplanarak hat dengelemesi yapılmaktadır. Toplam istasyon sayısına göre hat verimliliği hesaplanır:

$$\text{Hattın verimliliği} = \frac{1,97}{4 * 0,55} * 100 = \%89,55$$

#### 2.3.4.6. Darboğaz yöntemi

Konfeksiyon sektöründe en çok kullanılan yöntemlerden biri olan bu yöntemde en uzun süreli operasyona göre hattın dengelemesi yapılır. Belirli bir işçi sayısından yola çıkılarak gerçekleştirilecek üretim miktarı, gerekli makine sayısı ve makine çeşidi bulunup iş yüklemeleri yapılır. Darboğaz yönteminin akış algoritması Şekil 2.18’de görülmektedir.

Bu yöntemde uygulama adımları şunlardır:

1. En uzun standart süreye sahip operasyona 1 işçi atandığı varsayılarak diğer operasyonlara atanması gereken işçi sayısı aşağıdaki formül yardımı ile tespit edilir.

$$\text{Operasyona atacak işçi sayısı} = \frac{\text{Toplam işçi sayısı}}{\text{Ürünün toplam süresi}} \times \text{Standart süre} \quad (2.8)$$

2. Hesaplanan çalışan sayısı küsuratı aşağı veya yukarı yuvarlanarak tam sayıya dönüştürülür ve gerçek işçi sayısı bulunur.
3. Günlük üretim miktarı aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanır.

$$\text{Günlük üretim miktarı} = \frac{\text{Günlük çalışma süresi} \times \text{Toplam işçi sayısı}}{\text{Ürünün toplam süresi}} \quad (2.9)$$

4. Hat verimlilik hesaplaması da aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\text{Hat verimliliği} = \frac{\text{Operasyona atanacak toplam işçi sayısı}}{\text{Toplam gerçek işçi sayısı}} \times 100 \quad (2.10)$$

Örnek problemde toplam işçi sayısı 12 ve 40 kişi üzerinde ayrı ayrı hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. 1 günlük üretim süresi 9 saat kabul edilmiştir. Bir operasyona atanacak işçi sayısı 0 numaralı operasyon için yapıldığında, 12 işçi için 1,95 kişi, 40 işçi için 6,5 kişi elde edilmiştir. 1,95 ve 6,5 işçi atanamayacağı için değerler yukarı yuvarlanır. 0 numaralı operasyona 12 işçili dengelemede 2 kişi, 40 işçili, dengelemede 7 işçi atanır. Bir operasyonun oranlanan işçi sayısı 1,099 değerine kadar operasyona 1 işçi atanır, bu değer 1,1 ve üzeri olduğunda operasyona 2 işçi atanmalıdır.

$$0 \text{ numaralı operasyona atanacak işçi sayısı} = \frac{12}{1,97} \times 0,32 = 1,95$$

$$0 \text{ numaralı operasyona atanacak işçi sayısı} = \frac{40}{1,97} \times 0,32 = 6,5$$

**Çizelge 2.16.** Darboğaz yöntemine göre örnek problemin sonuç tablosu

Operasyon no	Kullanılan makine	Standart süresi	12 kişi için hat dengelemesi		40 kişi için hat dengelemesi	
			Oranlanan işçi sayısı	Gerçek işçi sayısı	Oranlanan işçi sayısı	Gerçek işçi sayısı
0	A makinesi	0,32	1,95	~2	6,50	~7
1	A makinesi	0,10	0,61	~1	2,03	~2
2	B makinesi	0,20	1,22	~2	4,06	~4
3	B makinesi	0,05	0,30	~1	1,02	~1
4	A makinesi	0,10	0,61	~1	2,03	~2
5	B makinesi	0,23	1,40	~2	4,67	~5
6	C makinesi	0,20	1,22	~2	4,06	~4
7	D makinesi	0,05	0,30	~1	1,02	~1
8	C makinesi	0,32	1,95	~2	6,50	~7
9	D makinesi	0,10	0,61	~1	2,03	~2
10	F makinesi	0,30	1,83	~2	6,09	~6
	Toplam	1,97	12	17 kişi	40	41 kişi

Hat dengeleme detay sonuçları Çizelge 2.16'da listelenmiştir. Çizelge 2.16'da 12 işçili hat dengeleme sonuçları incelendiğinde oranlanan işçi sayısı 12 olmasına rağmen gerçek işçi sayısı 17 olmaktadır. Gerçek işçi sayısını azaltmak için boşluğu olan işçilere birden fazla operasyon ataması yapılması gerekir. Örneğin 3 ve 7 numaralı operasyonların oranlanan işçi sayısının 0,3'dır. Bu operasyonlara atanan işçi sıfır kabul edilir. 7 numaralı operasyonun 9 numaralı operasyonu yapan işçi tarafından yapılacağı varsayılır. Her iki operasyonda da aynı tip makine kullanılmaktadır. 3 numaralı operasyonun 1 numaralı operasyonu yapan işçi

tarafından yapılacağı varsayılır. Bu durumda 1 numaralı operasyonu yapan işçinin hem A iki makineyi de kullanabilmesi gerekmektedir. Eğer iki makineyi kullanan işçi bulunmuyorsa, bu durumda 3 numaralı operasyona da bir işçi atamak gerekir.

Hattaki 40 işçi kullanıldığında 3 ve 7 numaralı operasyonlar hariç diğer tüm operasyonlara birden fazla işçi atanmaktadır. Oranlanan işçi sayısı da 40 iken, gerçek işçi sayısı 41 olmaktadır.

Günlük üretim miktarı 12 işçili dengeleme için 78 adet, 40 işçili dengeleme için 187 adet olarak hesaplanır. Hat verimliliği ise formüle göre hesaplandığında 12 işçili dengeleme için %70,6, 40 işçili dengeleme için %97,6 olarak bulunur. Bu yöntemle göre daha fazla işçi çalıştığında hat dengeleme verimliliğinin arttığı söylenebilir.

$$\text{Günlük üretim miktarı}(12 \text{ işçili}) = \frac{9 \times 12}{1,97} = 55 \text{ adet}$$

$$\text{Günlük üretim miktarı}(40 \text{ işçili}) = \frac{9 \times 40}{1,97} = 183 \text{ adet}$$

$$\text{Hat verimliliği}(12 \text{ işçili}) = \frac{12}{17} \times 100 = 70,6\%$$

$$\text{Hat verimliliği}(40 \text{ işçili}) = \frac{40}{41} \times 100 = 97,6\%$$



**Şekil 2.18.** Darboğaz yöntemi algoritma akış diyagramı

### 2.3.4.7. Önceden belirlenen üretim kapasitesine göre hat dengeleme yöntemi

Önceden belirlenen üretim kapasitesine göre hat dengeleme yönteminde, üretim kapasitesi kullanılarak dengeleme yapılır. Gerekli işçi sayısı, makine ayısı ve makine çeşidi bulunur ve buna göre iş yüklemesi yapılır. Bu yöntemde aşağıdaki bilgilerin bilinmesi gerekmektedir.

1. Ürünün operasyon sırası
2. Her operasyonun standart süresi
3. Her operasyon için kullanılan makine türü
4. Günlük çalışma süresi
5. Hattın günlük toplam üretim miktarı (m)
6. Operasyon üretim miktarı (M)

Bu yöntemde aşağıdaki adımlar uygulanır:

1. Çevrim süresi hesaplanır.
2. Bir operasyonun standart süresi çevrim süresinden büyükse o operasyona birden fazla işçi atanır. İstasyona operasyonun standart zaman/çevrim süresi oranı (A) hesaplanır.
3. A sayısı bir alt tam sayıya yuvarlanarak B sayısı hesaplanır. İlgili operasyona B kadar işçi ataması yapılır.
4. İlgili operasyonda B kadar işçinin üretebileceği günlük üretim miktarı= (Günlük üretim süresi / Standart süre) xB hesaplanır.
5. Kalan adet C= Günlük toplam üretim adeti- B kadar işçinin üretebileceği günlük üretim miktarı hesaplanır.
6. Gerekli süre = C x Standart süre hesaplanır
7. Bir operasyonun standart süresi çevrim süresinden küçükse, işçinin boş süresi kalacaktır. Bu durumda m adet üretim için gerekli süre hesaplanır.  
Gerekli süre = Hattın günlük toplam üretim miktarı(m) x Standart süre
8. m adet üretimin ardından kalacak boş süre hesaplanır.  
Boş süre = Günlük çalışma süresi - Gerekli süre
9. Boş süreyi doldurabilmek için, boş süresi uygun başka işçi olup olmadığı kontrol edilir.
10. Boş süresi olan başka işçi yoksa yeni bir işçi atanır.
11. Boş süresi olan başka işçi varsa makine özellikleri, operasyonun işlem sırası göz önünde bulundurularak ikinci bir operasyon atanır.
12. Her atamadan sonra üçüncü ve dördüncü işlemler tekrar uygulanarak boş süre tekrar hesaplanır. Boş süre mümkünse sıfır oluncaya dek bir işçiye üç, dört operasyon da atanabilir.
13. Bütün operasyonlara atama yapıldıktan sonra üretim bandının verimliliği aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

$$Hattın\ verimliliği = \frac{Günlük\ üretim\ miktarı * Toplam\ süre}{Günlük\ çalışma\ süresi * Makine\ veya\ işçi\ sayısı} \times 100 \quad (2.11)$$

Önceden belirlenen üretim kapasitesine göre hat dengeleme yöntemini kullanarak örnek problemi çözmek için gerekli bilgiler Çizelge 2.17’de verilmiştir.

**Çizelge 2.17.** Örnek problemim çözümü için gerekli operasyonel bilgiler

Operasyon no	En yakın önceli	Standart süre (saat)	Kullanılan makine	Üretim miktarı	Günlük çalışma süresi	Günlük toplam üretim miktarı
0	-	0,32	A makinesi	28	9 saat	36
1	-	0,10	A makinesi	90		
2	0,1	0,20	B makinesi	45		
3	1	0,05	B makinesi	180		
4	3	0,10	A makinesi	90		
5	2	0,23	B makinesi	39		
6	5	0,20	C makinesi	45		
7	5	0,05	D makinesi	180		
8	4,6	0,32	C makinesi	28		
9	7,8	0,10	D makinesi	90		
10	9	0,30	F makinesi	30		

Çevrim süresi  $9/36=0,25$  saat/adet olarak hesaplanır. 0 numaralı operasyonun süresi 0,32saat olup çevrim süresinden büyüktür. Bu nedenle 2. adımda belirtildiği üzere standart zaman/çevrim süresi oranı  $0,32/0,25=1,28$  işçi olarak hesaplanır. 1,28 işçi demek, bu operasyona 2 işçi verilmesi demektir. Bu operasyonda 1 işçi günde 28 adet üretebilmektedir. Kalan 8 adet ürünü atan ikinci işçi üretecektir. İkinci işçi 8 adet ürünü  $8*0,32=2,52$ saatte üretecektir. Bu durumda ikinci işçinin  $9-2,52=6,48$  saatlik boş süresi kalmaktadır. 1 numaralı operasyonun süresi çevrim süresinden küçüktür. 36 adet ürünü üretmek için gerekli süre  $0,1*36=3,6$  saattir. İkinci işçinin boş süresi 6,48 saat olduğu ve 1 ve 0 numaralı operasyonlar aynı A makinesinde gerçekleştirilebildiği için ikinci işçiye 1 numaralı operasyon da atanır. İkinci işçinin boş süresi  $6,48-3,6=2,88$  saat olarak hesaplanır. 2 numaralı operasyon çevrim süresinden daha kısadır ve B makinesinde  $36*0,2=7,2$  saatte yapılmaktadır. Üçüncü işçi 2 numaralı operasyona atanır. Üçüncü işçinin boş süresi  $9-7,2=1,8$ saat olarak hesaplanır. 3 numaralı operasyon da çevrim süresinden daha kısadır ve B makinesinde  $36*0,05=1,8$  saatte yapılmaktadır. Bu durumda hem süre hem de makine bakımından uyumlu olduğu için üçüncü işçinin 3 numaralı operasyon atanır. Atamalara bu şekilde devam edilir. Yöntem uygulandıktan sonra Çizelge 2.18’da örnek problem için sonuçlar görülmektedir. Toplam 11 operasyon 10 işçi tarafından gerçekleştirilmektedir. Hat verimliliği yukarıdaki formül (2.11)’e göre %78,8 olarak hesaplanır.

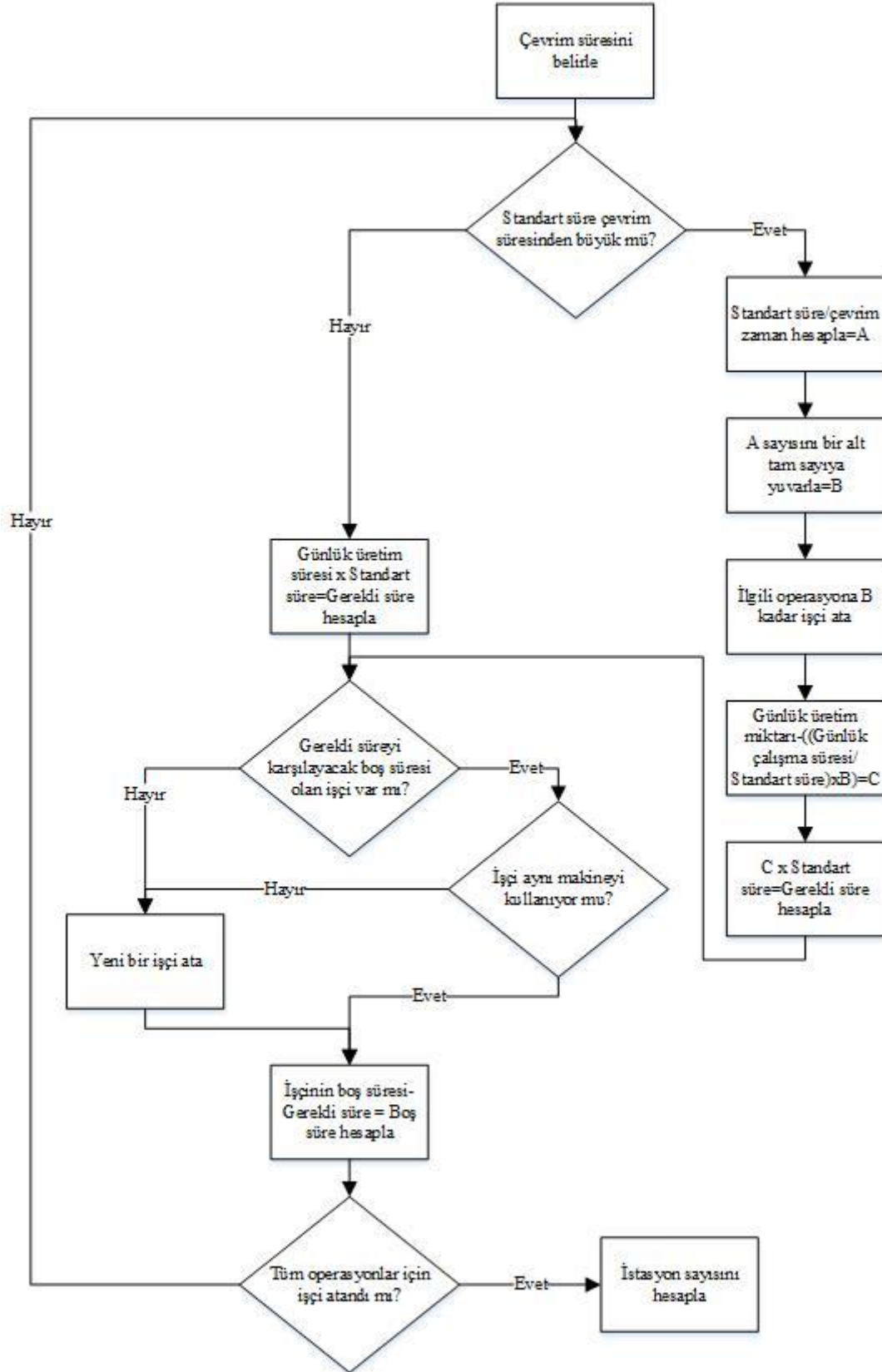
$$\text{Hattın verimliliği} = \frac{36 * 1,97}{9 * 10} \times 100 = 78,8\%$$



**Çizelge 2.18.** Önceden belirlenen üretim kapasitesine göre hat dengeleme yöntemi örnek problem için sonuç çizelgesi

Operasyon no	Standart süresi	Kullanılan makine	Üretim miktarı	Atanan İşçi no	Gerekli süre (saat)	Boş süre (saat)
0	0,32	A makinesi	28	1	9	0
0	0,32	A makinesi	8	2	2,52	6,48
1	0,1	A makinesi	36	2	3,6	2,88
2	0,2	B makinesi	36	3	7,2	1,8
3	0,05	B makinesi	36	3	1,8	0
4	0,1	A makinesi	36	4	3,6	5,4
5	0,23	B makinesi	36	5	8,28	0,72
6	0,2	C makinesi	36	6	7,2	1,8
7	0,05	D makinesi	36	7	1,8	7,2
8	0,32	C makinesi	28	8	9	0
8	0,32	C makinesi	8	9	2,52	6,48
9	0,1	D makinesi	36	7	3,6	3,6
10	0,3	F makinesi	30	10	9	0

Önceden belirlenen üretim kapasitesine göre hat dengeleme yönteminin algoritma akış diyagramı Şekil 2.19’da görülmektedir.



Şekil 2.19. Önceden belirlenen üretim kapasitesine göre hat dengeleme yöntemi algoritma akış diyagramı

### 2.3.4.8. Sezgisel artırımı verimlilik yöntemi

Sezgisel artırımı verimlilik yönteminde operasyonlar öncelik sırasına göre ve her istasyonun verimliliği %100 oluncaya kadar veya %100 olmuyorsa elde edilen en yüksek verimlilik değerinde düşüş gözlemlenene kadar atama yapılır.

Bu yöntem operasyon süresinin çevrim süresinden büyük veya çevrim süresine eşit olduğu durumlarda uygundur. Operasyon süresi ne olursa olsun hat dengeleme problemine çözüm getiren bir metottur. Dengeleme sonunda fazladan araç ve makine ihtiyacı oluşabilmektedir. Sezgisel artırımı verimlilik hat dengeleme yönteminin algoritma akış diyagramı Şekil 2.20’de görülmektedir.

Yöntemin uygulama adımları şunlardır (Gaither ve Frazier 2002):

1. Öncelik diyagramı hazırlanır.
2. Çevrim süresi hesaplanır.
3. Toplam minimum makine sayısı aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

$$\text{Toplam minimum makine sayısı} = \frac{\text{Toplam süre} * \text{Günlük üretim miktarı}}{\text{Günlük çalışma süresi}} \quad (2.12)$$

4. Önceli olmayan operasyonlar belirlenir.
5. Önceli olmayan operasyonlardan biri atanır. Her atamadan sonra minimum makine sayısı aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

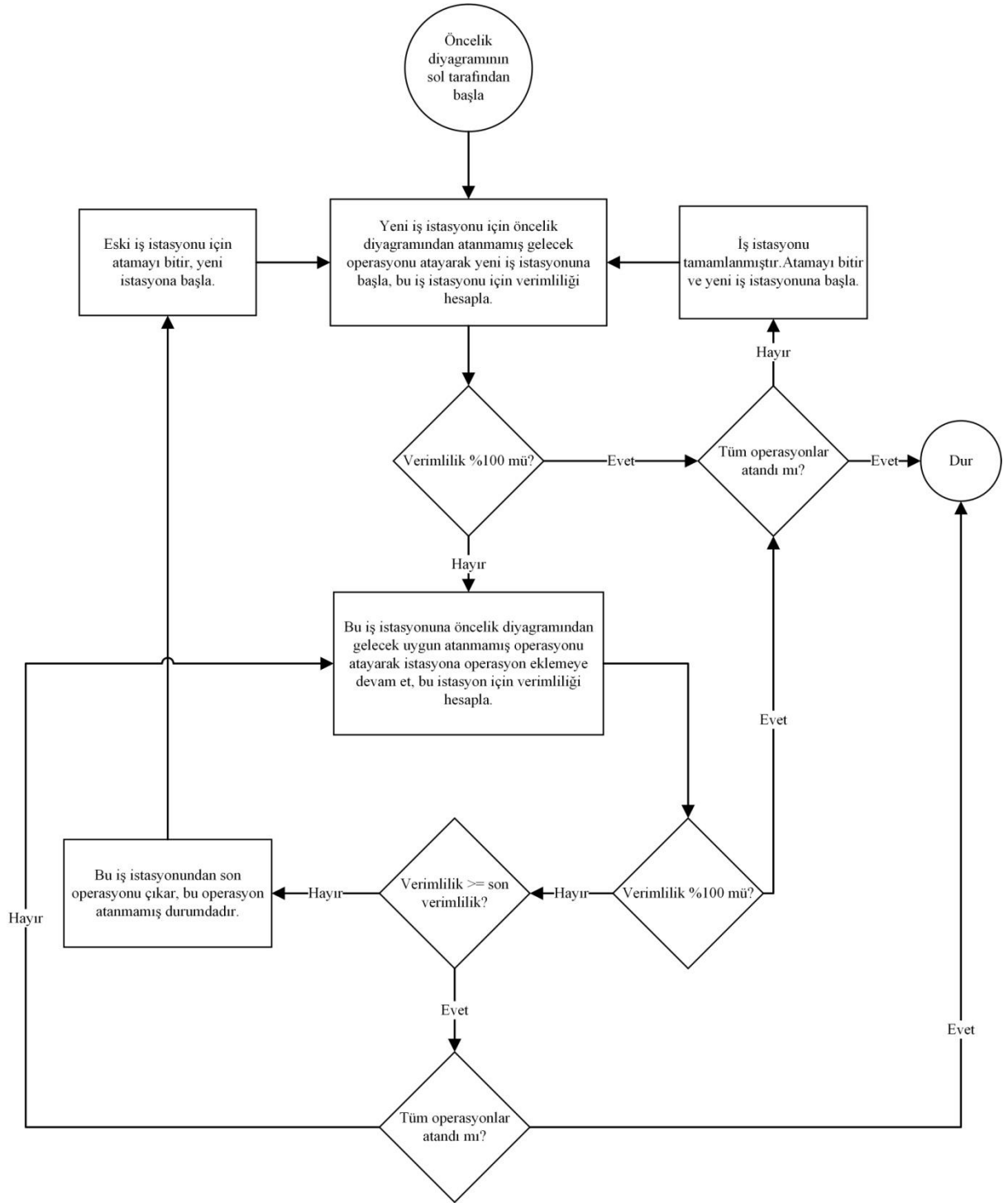
$$\text{Operasyon minimum makine sayısı} = \frac{\text{İstasyon toplam süresi}}{\text{Çevrim süresi}} \quad (2.13)$$

6. Minimum makine sayısı yukarı yuvarlanarak gerçek makine sayısı elde edilir. Örneğin minimum makine sayısı 1,28 ise gerçek makine sayısı 2 olur.
7. İstasyon verimliliği aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

$$\text{İstasyon verimliliği} = \frac{\text{Minimum makine sayısı}}{\text{Gerçek makine sayısı}} \times 100 \quad (2.14)$$

8. Verimlilik %100 ise mevcut istasyon kapatılır, yeni istasyon açılır. Verimlilik %100 değilse, başka bir operasyon atamak üzere dördüncü adıma geri dönlür.
9. Bütün operasyonlar atandıktan sonra hat dengeleme verimliliği aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\text{Hattın verimliliği} = \frac{\text{Toplam minimum makine sayısı}}{\text{Toplam gerçek makine sayısı}} \times 100 \quad (2.15)$$



**Şekil 2.20.** Sezgisel artırılmış verimlilik yöntemi algoritma akış diyagramı

Yöntemi örnek probleme uygularken önce çevrim süresi ve minimum makine sayısı hesaplanır.

$$\text{Çevrim süresi} = \frac{\text{Günlük çalışma süresi}}{\text{Günlük üretim miktarı}} = \frac{9}{36} = 0,25 \text{ saat}$$

$$\text{Toplam minimum makine sayısı} = \frac{1,97 * 36}{9} = 7,88$$

Örnek problemde önceli olmayan 0 ve 1 numaralı operasyonlar atanabilir. Önce 0 numaralı operasyon birinci istasyona atanır. Minimum makine sayısı 1,28 olarak hesaplanır. Minimum makine sayısı yukarı yuvarlanır ve gerçek makine sayısı 2 olarak bulunur. Verimlilik ise %64 olarak hesaplanır.

$$\text{Operasyon minimum makine sayısı} = \frac{0,32}{0,25} = 1,28$$

$$\text{Verimlilik} = \frac{1,28}{2} \times 100 = 64\%$$

0 numaralı operasyon atanınca, sadece 1 numaralı operasyon atanabilir durumdadır. 1 numaralı operasyon birinci istasyona atanınca istasyon süresi  $0,32+0,1=0,42$ , minimum makine sayısı  $0,42/0,25=1,68$  olarak hesaplanır. Gerçek makine sayısı 2 ve istasyon verimliliği %84 olarak hesaplanır. 1 numaralı operasyon atanınca 2 ve 3 numaralı operasyonlar atanabilir durumdadır. Önce 2 numaralı operasyon atanır. Ancak 2 numaralı operasyon atanınca verimlilik %83'e düşmektedir. Bu nedenle atama iptal edilip 3 numaralı operasyon atanır. 3 numaralı operasyon atanınca verimlilik %94'e yükselmiştir. 3 numaralı operasyon atanınca 4 numaralı operasyon atanabilir duruma gelmiştir. 4 numaralı operasyon atanınca verimlilik %76'a düştüğü gözlemlenmektedir. Bu nedenle 4 numaralı operasyonun ataması iptal edilir. 0, 1, 3 numaralı operasyonlar birinci istasyona ataması kabul edilip birinci istasyon kapatılır ve ikinci istasyona açılır. Bu şekilde devam edilerek tüm operasyonlar Çizelge 2.19'daki gibi atanır.

Örnek problemde 11 operasyon 4 istasyona atanmış ve hattın verimliliği %87,6 olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Hattın verimliliği} = \frac{7,88}{9} \times 100 = 87,6\%$$

**Çizelge 2.19.** Sezgisel artırımı verimlilik yöntemine göre örnek problem atama çizelgesi

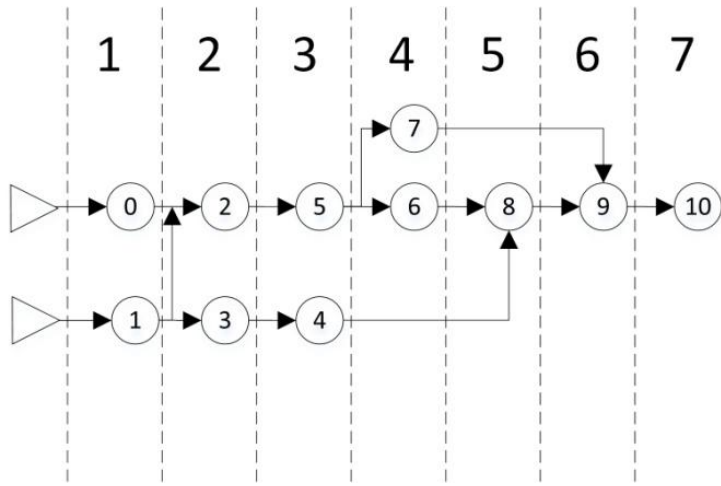
İş istasyonu	Operasyon no	İstasyon süresi	İstasyon süresi	Minimum Makine sayısı	Gerçek makine sayısı	Verimlilik
1	0	=,32	,32	1,28	2	64
1	0,1	=0,32+0,1	0,42	1,68	2	84
1	0,1,2	=0,32+0,1+0,2	0,62	2,48	3	83
1	0,1,3	=0,32+0,1+0,05	0,47	1,88	2	94
1	0,1,4	=0,32+0,1+0,05+0,1	0,57	2,28	3	76
2	2	=0,2	0,2	0,8	1	80
2	2,4	=0,2+0,1	0,3	1,2	2	60
2	2,5	=0,2+0,23	0,43	1,72	2	86
2	2,5,4	=0,2+0,23+0,1	0,53	2,12	3	71
2	2,5,7	=0,2+0,23+0,05	0,48	1,92	2	96
2	2,5,7,6	=0,2+0,23+0,05	0,68	2,72	3	91
3	4	=0,1	0,1	0,4	1	40
3	4,6	=0,1+0,2	0,3	1,2	2	60
3	4,6,8	=0,1+0,2+0,32	0,62	2,48	3	83
3	4,6,8,9	=0,1+0,2+0,32+0,1	0,72	2,88	3	96
3	4,6,8,9,10	=0,1+0,2+0,32+0,1+0,3	1,02	4,08	5	82
4	10	=0,3	0,30	1,2	2	60
			Toplam	7,88	9	

#### 2.3.4.9. Kilbridge-Wester yöntemi

Kilbridge ve Wester tarafından önerilen bu sezgisel metotta, operasyonlar öncelik diyagramındaki pozisyonlarına göre istasyonlara atanmaktadır. Hızlı çözüm veren, kolaylıkla uygulanan ve oldukça verimli sonuçlar veren bu yöntem, aşağıdaki uygulama adımlarını içermektedir (Elsayed ve Boucher 1985, Wild 2002, Jaturanonda ve ark. 2013):

1. Öncelik diyagramı hazırlanır. Diyagramda operasyonlar yapılış sırasına göre soldan sağa doğru, yatay olarak aynı hizada olacak şekilde Şekil 2.21'deki gibi yerleştirilirler. Bu sayede bazı operasyonlar dikey olarak aynı sütuna denk gelir. Aynı sütunda yer alan operasyonlar aynı istasyona atanırlar.
2. Çevrim zamanı hesaplanır.
3. Öncelik diyagramında birinci sütundan başlanarak aynı sütuna düşen operasyonlar, alt alta gelecek ve standart süreleri büyükten küçüğe sıralanacak şekilde bir çizelgeye aktarılır.
4. Çizelgede operasyonların standart süreleri ve her sütunda yer alan operasyonların toplam süreleri ve istasyonların kümülatif toplam süreleri hesaplanır.
5. Eğer operasyon birden fazla sütuna yerleştirilebiliyorsa, hangi sütunlara transfer yapılabileceği de çizelgede belirtilir.

6. Atamaya birinci sütundan başlanır. Sütunda yer alan operasyonların toplam süresi çevrim süresini aşmayacak ve istasyon boş süresi en az olacak şekilde atama yapılır.
7. Sütunda yer alan operasyonların toplam süresi çevrim süresini aşması durumunda fazla olan operasyonlar bir sonraki istasyona kaydırılır. Çevrim süresinden az olması durumunda ise bir sonraki sütundan operasyonlar bir önceki sütuna kaydırılarak atamalar yapılır.
8. Toplam istasyon sayısına göre hat verimliliği (2.4) denklemine göre hesaplanır.



**Şekil 2.21.** Kilbridge-Wester yöntemine göre örnek problem için öncelik diyagramı

Yöntemin algoritma akış diyagramı Şekil 2.22'de görülmektedir. Yöntem örnek problem uygulandığında önce Şekil 2.21'deki öncelik diyagramı hazırlanır. Öncelik diyagramı incelendiğinde 11 adet operasyonun 7 sütun altında toplandığı görülmektedir. 7 sütun başlangıçta 7 istasyon demektir. Örneğin birinci istasyonda 0 ve 1 numaralı operasyonlar, ikinci istasyonda 2 ve 3 numaralı operasyonlar yer almaktadır.

Öncelik diyagramındaki veriler Çizelge 2.20'deki gibi listelenir. Öncelik diyagramında her sütunda yer alan operasyon süreleri toplanarak istasyon süreleri ve istasyonların kümülatif toplam süreleri hesaplanır.

3, 4 ve 7 numaralı operasyonlar transfer edilebilir operasyonlardır. Örneğin 4 numaralı operasyon hem üçüncü hem de dördüncü sütunda yer alabilir. 3 numaralı operasyon ise hem ikinci hem de üçüncü sütunda yer alabilir. Ancak üçüncü sütunda yer alabilmesi için 4 numaralı operasyonla beraber hareket etmesi yani 4 numaralı operasyonun da dördüncü sütuna geçmesi gerekir. 7 numaralı operasyon hem dördüncü hem de beşinci sütunda yer alabilir.



**Şekil 2.22.** Kilbridge-Wester yöntemi algoritma akış diyagramı

Atamaya birinci sütundan (istasyondan) başlanır. Birinci istasyonun kümülatif süresi 0,42 saattir. Çevrim süresi 0,55 saat olduğu için istasyon kalan boş süresi  $0,55-0,42=0,13$  saattir. Boş zamanı azaltmak üzere ikinci istasyonda standart süresi 0,13 saat veya daha az olan operasyon olup olmadığı kontrol edilir. Süresi uygun tek operasyon 3 numaralı operasyondur. 3 numaralı operasyon birinci istasyona kaydırılır. Bu durumda birinci istasyon toplam süresi  $0,42+0,05=0,47$  saat, kalan istasyon süresi 0,08 saattir.



**Çizelge 2.20.** Kibridge-Wester yöntemine göre öncelik diyagramındaki verilerin çizelgeye aktarılması

Öncelik diyagramındaki sütun	Operasyon no	Operasyonun transfer edilebilirliği	Operasyon süresi	İstasyon için toplam süre	Kümülatif toplam süre
1	0		0,32		
1	1		0,1	0,42	0,42
2	2		0,2		
2	3	3-4 (4 ile)	0,05	0,25	0,67
3	5		0,23		
3	4	4	0,1	0,33	1
4	6		0,2		
4	7	5	0,05	0,25	1,25
5	8		0,32	0,32	1,57
6	9		0,1	0,1	1,67
7	10		0,3	0,3	1,97

İkinci istasyonda sadece 2 numaralı operasyon kaldığı için aynı şekilde 3 numaralı istasyondan süresi uygun operasyon veya operasyonlar kaydırılarak kalan süre sıfırlanmaya çalışılır. Örnek problemin Kilbridge-Wester yöntemiyle elde edilen sonuçları Çizelge 2.21’de görülmektedir.

**Çizelge 2.21.** Örnek problemin Kilbridge-Wester yöntemiyle elde edilen sonuçları

Öncelik diyagramındaki sütun	Operasyon no	Operasyonun transfer edilebilirliği	Operasyon süresi	İstasyon için toplam süre	Kümülatif toplam süre
1	0		0,32		
1	1		0,1		
1	3	3-4 (4ile)	0,05	0,47	0,47
2	2		0,2		
2	4	4	0,1		
2	5		0,23	0,53	1
3	6		0,2		
3	8		0,32	0,52	1,52
4	7	5	0,05		
4	9		0,1		
4	10		0,3	0,45	1,97

Örnek problemde Kilbridge-Wester yöntemiyle başlangıçta 7 olan istasyon sayısı 4’e azaltılmıştır. Hat verimliliği %89,5 olarak hesaplanır.

$$\text{Hattın verimliliği} = \frac{1,97}{4 \times 0,55} \times 100 = 89,5\%$$

### 2.3.4.10. Probabilistik hat dengeleme yöntemi

Pek çok hat dengeleme metodu operasyonların sürelerini değişmez kabul etmektedir. Ancak birçok pratik durumda operasyonların süreleri rasgele değişkendir ve bu değişkenlerin bazıları olasılık dağılımına uyar bazıları ise hiç uymaz. Probabilistik hat dengeleme yönteminde iki yaklaşım bulunmaktadır.

1. Bir istasyondaki operasyonların süreleri  $\mu$  ortalamalı ve  $\sigma$  standart sapmalı normal dağılıma uyar.
2. Operasyon sürelerinin olasılık dağılımı bilinmiyor, sadece ilgili istasyondaki operasyonun  $\mu$  ortalama değeri ve  $\sigma$  standart sapma değeri biliniyor.

Olasılık dağılımının normal olduğu birinci yaklaşımda yöntemin uygulama aşamaları aşağıdaki gibidir (Elsayed ve Boucher 1985, Eryürük 2012). Yöntemin algoritma akış diyagramı Şekil 2.23’de görülmektedir.

1. P ve F matrisleri oluşturulur. P matrisi bir operasyondan önce gelen operasyonları, F matrisi ise bir operasyondan sonra gelen operasyonları göstermek için kullanılan bir listedir.
2. Her operasyon için kronometre ile ölçülen temel zamanların standart sapmaları hesaplanır.
3. Atamaya başlamadan önce P matrisinin tamamı sıfır olan satırları belirlenir. Bunlar önceli olmayan operasyonlardır.
4. Operasyonlar ardı ardına gelen istasyonlara en büyük aday kuralına (en uzun işlem süresine göre atama yöntemi) göre atanır. Yani en yüksek süreye sahip olan operasyonlara öncelik verilir.
5. Bir istasyona yapılacak ikinci ve sonraki her atamadan önce aşağıdaki teorem kontrol edilmelidir:

“Eğer iki bağımsız rastsal değişkenin dağılımı  $\mu_1$  ve  $\mu_2$  ortalaması ve  $\sigma_1^2$  ve  $\sigma_2^2$  varyansa sahip ise, bu iki bağımsız rastsal değişkenin toplamlarının dağılımı da  $\mu_1 + \mu_2$  ortalamasına ve  $\sigma_1^2 + \sigma_2^2$  varyansına sahip olur.”

6. Eğer bir istasyona atamak için iki uygun operasyon varsa aşağıdaki formüle göre istasyon süresinin çevrim süresini aşmama olasılığı hesaplanır ve iki operasyon için olasılıklar karşılaştırılır.

$$Z = \frac{T-C}{\sigma_{istasyon}} \quad (2.16)$$

T= İstasyona atanan operasyonların toplam süresi

C= Çevrim süresi

$\sigma_{ist}$ = İstasyonda bulunan operasyonların varyanslarının toplamının karekökü

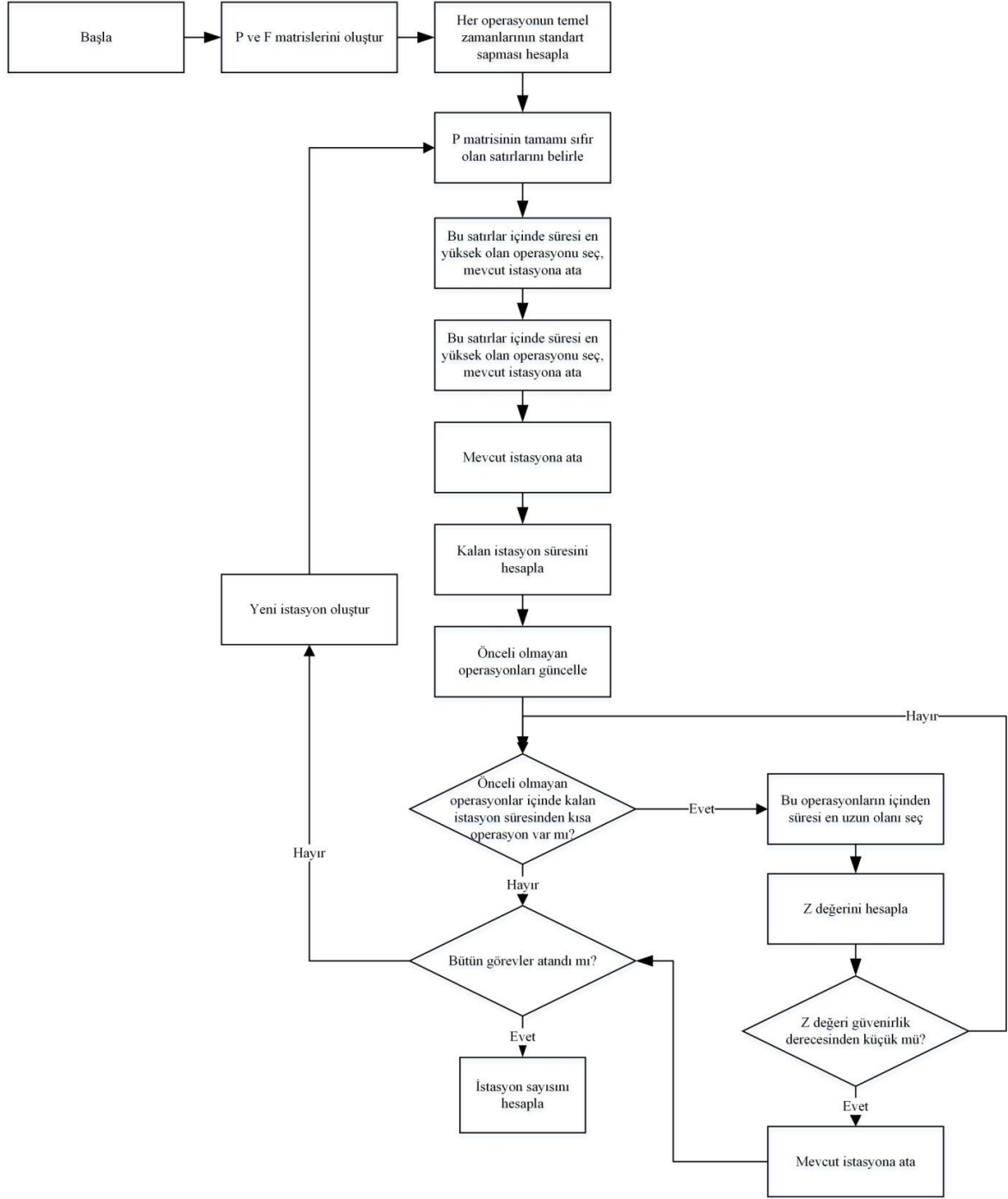
$$\sigma_{ist} = \sqrt{\sigma_{n1}^2 + \sigma_{n2}^2 + \dots + \sigma_{nx}^2} \quad (2.17)$$

n=istasyonda bulunan operasyonların numarası

7. Normal dağılım tablosundan Z değeri kullanılarak  $P(T \leq C)$  değeri bulunur. Tablodan bulunan değer, önceden verilmiş olan olasılıktan (güvenirlilik derecesi) küçükse veya eşitse operasyon ilgili istasyona atanır.
8. İstasyona eklenen her yeni operasyon için Z değeri hesaplanır ve güvenirlilik derecesini aşp aşmadığı kontrol edilir.
9. Her atamadan sonra atanan operasyonun F matrisine gidilir. Buradaki operasyonlar atanabilecek operasyon listesine eklenir. P matrisinde de atanan operasyonun rakamı yerine sıfır yazılır.
10. Hesaplanan olasılık, güvenirlilik derecesini aşana kadar istasyona atama yapılmaya devam edilir. Güvenirlilik derecesi aşılnca yeni bir istasyon açılır.
11. Tüm operasyonlar atanıncaya kadar atamaya aynı şekilde devam edilir.
12. Hat etkinliği ve kuramsal etkinlik (2.4) ve (2.6) numaralı formüllere göre hesaplanır.

Örnek problem için P ve F matrisleri oluşturulur. 0 numaralı operasyondan önce bir operasyon olmadığı için P matrisi 0 0 0 olur. Üç sıfır üç farklı operasyonu ifade etmektedir. 0 numaralı operasyondan sonra 2 numaralı operasyon olduğu için F matrisi 2 0 0 olur. 5 numaralı operasyondan önce 2 numaralı operasyon olduğu için P matrisi 2 0 0 olur. 5 numaralı operasyondan sonra 6 ve 7 numaralı operasyonlar olduğu için F matrisi 6 7 0 olur. Örnek problem için P ve F matrisleri ile operasyonların standart sapmaları Çizelge 2.22'de görülmektedir.

Atamaya başlamadan önce P matrisi tamamen sıfır olan satırlar belirlenir. 0 ve 1 numaralı operasyonun P matrisi tamamen sıfırdır. Atamaya bu operasyonlardan başlanır. 0 numaralı operasyonun standart süresi 1 numaralı operasyondan daha yüksek olduğu için birinci istasyona atanır. Atamadan sonra 0 numaralı operasyonun F matrisine gidilir ve bu satırdaki numaralar alınır. F matrisinde 2 0 0'dır. 2 numaralı operasyonun P matrisine gidilir.



**Şekil 2.23.** Probabilistik hat dengeleme yöntemi algoritma akış diyagramı

P matrisi 0 1 0'dır ve yani 2 numaralı operasyondan atanmadan önce 0 ve 1 numaralı istasyonların atanmış gerekmektedir. Bu nedenle 2 numaralı operasyon atanamaz. Atanabilir durumda sadece 1 numaralı operasyon bulunmaktadır.

**Çizelge 2.22.** Örnek problem P ve F matrisi

Operasyon no	Standart süre (saat)	Standart sapma	P matrisi	F matrisi
0	0,32	0,035	0 0 0	2 0 0
1	0,10	0,042	0 0 0	2 3 0
2	0,20	0,073	0 1 0	5 0 0
3	0,05	0,055	1 0 0	4 0 0
4	0,10	0,025	3 0 0	8 0 0
5	0,23	0,071	2 0 0	6 7 0
6	0,20	0,035	5 0 0	8 0 0
7	0,05	0,066	5 0 0	9 0 0
8	0,32	0,040	4 6 0	9 0 0
9	0,10	0,070	7 8 0	10 0 0
10	0,30	0,050	9 0 0	0 0 0

1 numaralı operasyonu atamadan önce  $\sigma_{ist}$  ve Z değerleri hesaplanır.  $\sigma_{ist}$  hesaplanırken 0 ve 1 numaralı istasyonların standart sapmaları kullanılır.

$$\sigma_{ist} = \sqrt{\sigma_0^2 + \sigma_1^2} = \sqrt{(0,035)^2 + (0,042)^2} = 0,055$$

$$z = \frac{T - C}{\sigma_{istasyon}} = \frac{0,42 - 0,55}{0,055} = -2,37$$

Örnek problem için güvenilirlik derecesi %80 (%50+%30) kabul edilmiştir. Normal dağılım tablosundan %30'a denk gelen değer 0,84 olarak bulunur. %20 güvensizliğe karşı gelen değer arandığı için değeri -0,84 olur.

Z değeri  $-2,37 < -0,84$  olduğu için 1 numaralı operasyon birinci istasyona atanabilir demektir. 1 numaralı operasyon birinci istasyona atanır.

İstasyon boş süresini azaltmak üzere atama yapmaya devam edilir. 1 numaralı operasyonun F matrisine gidilir. 2 ve 3 nolu operasyonlar atanabilir duruma gelmiştir. 2 numaralı operasyonun süresi 0,2 olup kalan istasyon süresinden fazladır, bu nedenle atanamaz. 3 numaralı operasyonun süresi atama için uygundur. 3 numaralı operasyonu atamadan önce  $\sigma_{ist}$  ve Z değerleri hesaplanır.  $\sigma_{ist}$  hesaplanırken 0, 1 ve 3 numaralı istasyonların standart sapmaları kullanılır.

$$\sigma_{ist} = \sqrt{\sigma_0^2 + \sigma_1^2 + \sigma_3^2} = \sqrt{(0,035)^2 + (0,042)^2 + (0,055)^2} = 0,078$$

$$z = \frac{T - C}{\sigma_{istasyon}} = \frac{0,47 - 0,55}{0,078} = -1,03$$

Z değeri  $-1,03 < -0,84$  olduğu için 3 numaralı operasyon birinci istasyona atanabilir demektir. 3 numaralı operasyon birinci istasyona atanır.

İstasyon boş süresini azaltmak üzere atama yapmaya devam edilir. 1 numaralı operasyonun F matrisine gidilir. 4 nolu operasyonlar atanabilir duruma gelmiştir. Atanabilir durumda olan 2 ve 4 numaralı operasyonların süreleri kalan istasyon süresinden fazla olduğu için atama yapılamaz. Birinci istasyon kapatılır, ikinci istasyon açılır. Atamalara aynı şekilde devam edilir.

Çizelge 2.23’de örnek problem için atama çizelgesi ve hesaplanan Z değerleri görülmektedir. Çizelge incelendiğinde ikinci istasyonda 2 ve 5 numaralı operasyonlardan sonra 4 numaralı operasyon atama için denenmiştir. 4 numaralı operasyonun süresi istasyon boş süresinden az ve atamaya uygundur ancak Z değeri  $-0,84$  değerinden büyük çıkmıştır. Bu nedenle ikinci istasyona atanamamıştır. Aynı şekilde standart süresi atamaya uygun olan 7 numaralı operasyon da denenmiş, Z değeri  $-0,84$  değerinden büyük çıkmıştır. Bu nedenle ikinci istasyona atanamamış.

**Çizelge 2.23.** Örnek problem atama çizelgesi ve Z değerleri

İş istasyonu	Atanan Operasyon no	İşlem süresi	İstasyon toplam süresi	İstasyon Boş süre	Z değeri	Z $< -0,84$	Atama Durumu
1	0	0,32	0,32	0,23			
1	1	0,10	0,42	0,13	-2,37	$-2,37 < -0,84$	Atanabilir
1	3	0,05	0,47	0,08	-1,03	$-1,03 < -0,84$	Atanabilir
2	2	0,20	0,2	0,35			
2	5	0,23	0,43	0,12	-1,20	$-1,05 < -0,84$	Atanabilir
2	4	0,10	0,53	0,02	-0,19	$-0,19 > -0,84$	Atanamaz
2	7	0,05	0,48	0,07	-0,59	$-0,59 > -0,84$	Atanamaz
3	6	0,20	0,2	0,35			
3	4	0,10	0,3	0,25	-3,54	$-3,54 < -0,84$	Atanabilir
3	7	0,05	0,35	0,2	-2,58	$-2,58 < -0,84$	Atanabilir
4	8	0,32	0,32	0,23			
4	9	0,10	0,42	0,13	-1,55	$-1,55 < -0,85$	Atanabilir
5	10	0,30	0,3	0,25			

Probabilistik hat dengeleme yöntemine göre örnek problem sonuçları Çizelge 2.24’te görülmektedir. Örnek problemdeki 11 operasyonun 5 istasyonda hat dengelemesi yapılmıştır. Hat verimliliği %71,6, kuramsal verimlilik %89,5 olarak hesaplanır. Gerekli en az istasyon sayısı (2.2), (2.3) denklemlerine göre hesaplanmıştır.

$$\text{Hattın verimliliği} = \frac{1,97}{5 \times 0,55} \times 100 = 71,6\%$$

$$\text{Kuramsal verimlilik} = \frac{1,97}{4 \times 0,55} \times 100 = 89,5\%$$

**Çizelge 2.24.** Probabilistik hat dengeleme yöntemine göre örnek problem sonuçları

İş istasyonu	Atanan operasyon no	İşlem süresi	İstasyon toplam süresi	İstasyon boş süresi
1	0	0,32	0,32	0,23
1	1	0,1	0,42	0,13
1	3	0,05	0,47	0,08
2	2	0,2	0,2	0,35
2	5	0,23	0,43	0,12
3	6	0,2	0,2	0,35
3	4	0,1	0,3	0,25
3	7	0,05	0,35	0,2
4	8	0,32	0,32	0,23
4	9	0,1	0,42	0,13
5	10	0,3	0,3	0,25

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde öncelikle, konfeksiyon sektörüne uygun hat dengeleme yönteminin belirlenmesi probleminin ayrıntılı tanımlanması yapılmış, ardından operasyonların standart sürelerinin nasıl tespit edildiği ve 8 farklı hat dengeleme yöntemi için uygulanan geliştirmeler anlatılmıştır.

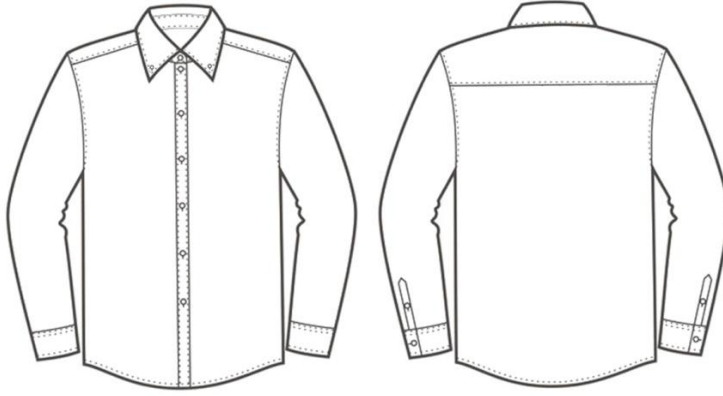
#### 3.1. Problem Tanımlaması

Konfeksiyon işletmelerinde direkt işçilik maliyetinin en yüksek olduğu yer işçiliğin en fazla kullanıldığı dikimhane bölümleridir. Dikimhanede yapılacak iyileştirme çalışmaları direkt işçilik maliyetlerini ve dolayısıyla işletme ürün maliyetlerini azaltacaktır. Bu çalışmada konfeksiyon üretimi yapan iki işletmenin dikimhanesinden veriler toplanmıştır. Her iki dikimhanede de üretimi yapılmakta olan klasik erkek gömleği ve bayan denim pantolon ürünlerinden alınan verilere hat dengeleme metotları uygulanması ve konfeksiyona en uygun metodun belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla öncelikle iki ürünün üretim iş akışları MS Visio programında oluşturulmuştur.

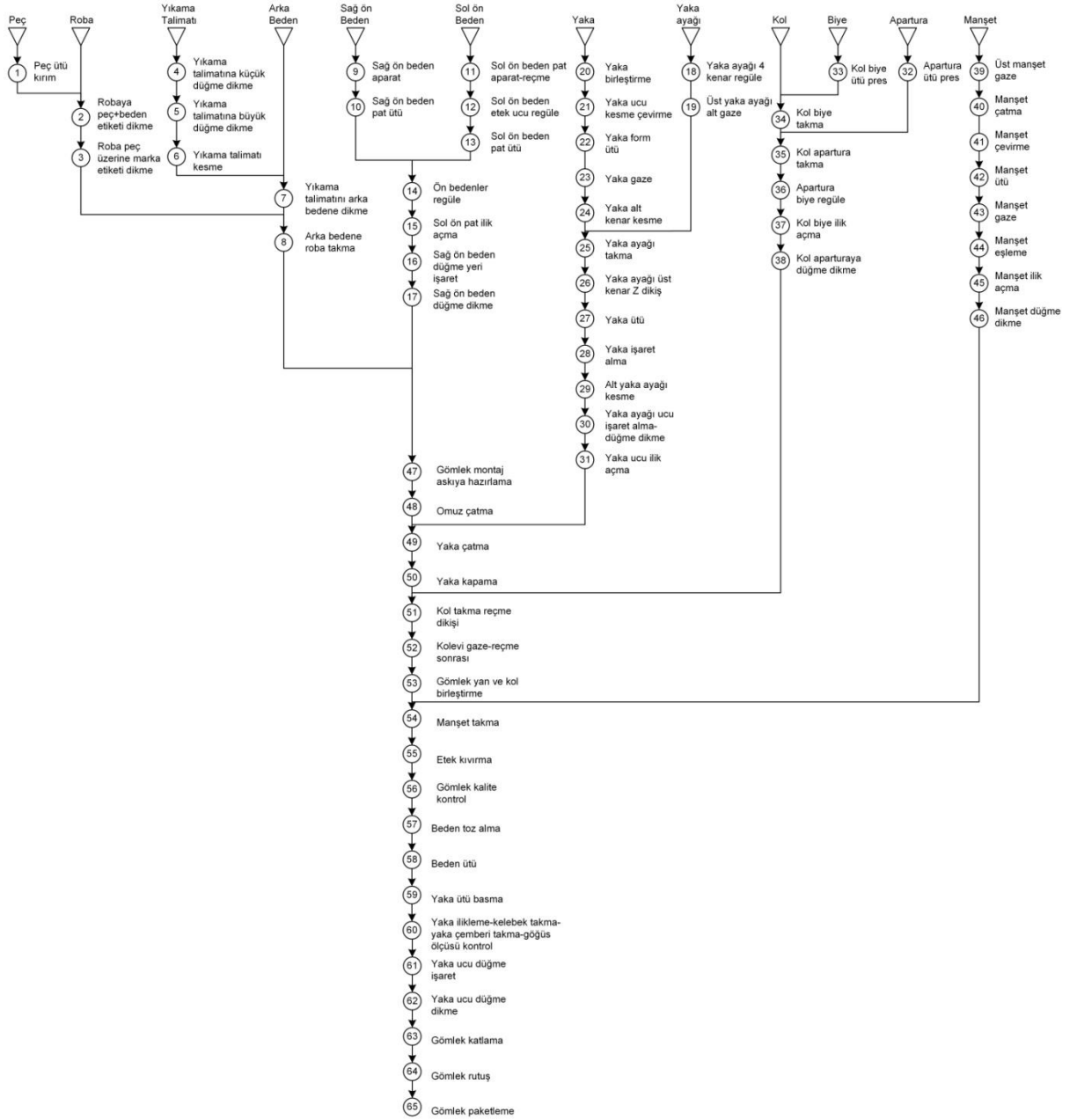
Uygulama yapılan klasik erkek gömleği modeli teknik çizimi Şekil 3.1’de görülmektedir. Şekil 3.2’de klasik erkek gömlek modeli iş akışı görülmektedir. Klasik erkek gömleği 11 kesili kumaş parçası ve 1 yıkama talimatından oluşmakta, paketlenme ve kolilemesi dahil toplam 65 operasyon ile üretimi gerçekleştirilmektedir. Gömlek dikim bandında toplam 59 kişi çalışmaktadır. İşletmede günlük toplam çalışma saati 9 saat (540 dk.), günlük üretim adedi 850 adet olarak belirlenmiştir. Hat dengeleme metotları bu çalışma saati ve üretim adedi baz alınarak uygulanmıştır. Gömlek modeli çevrim süresi 0,635 dk olarak hesaplanmıştır.

Gömlek modelinin operasyon süreleri incelendiğinde 16 adet operasyonun standart süresinin çevrim süresinden fazla olduğu tespit edilmiştir. Hat dengeleme metotlarının uygulanabilmesi için süresi yüksek operasyonlar paralel istasyonlara bölünmüştür. Böylece her operasyonun süresi çevrim süresi altında olacak şekilde düzenlenmiştir.





Şekil 3.1. Klasik erkek gömleği teknik çizimi



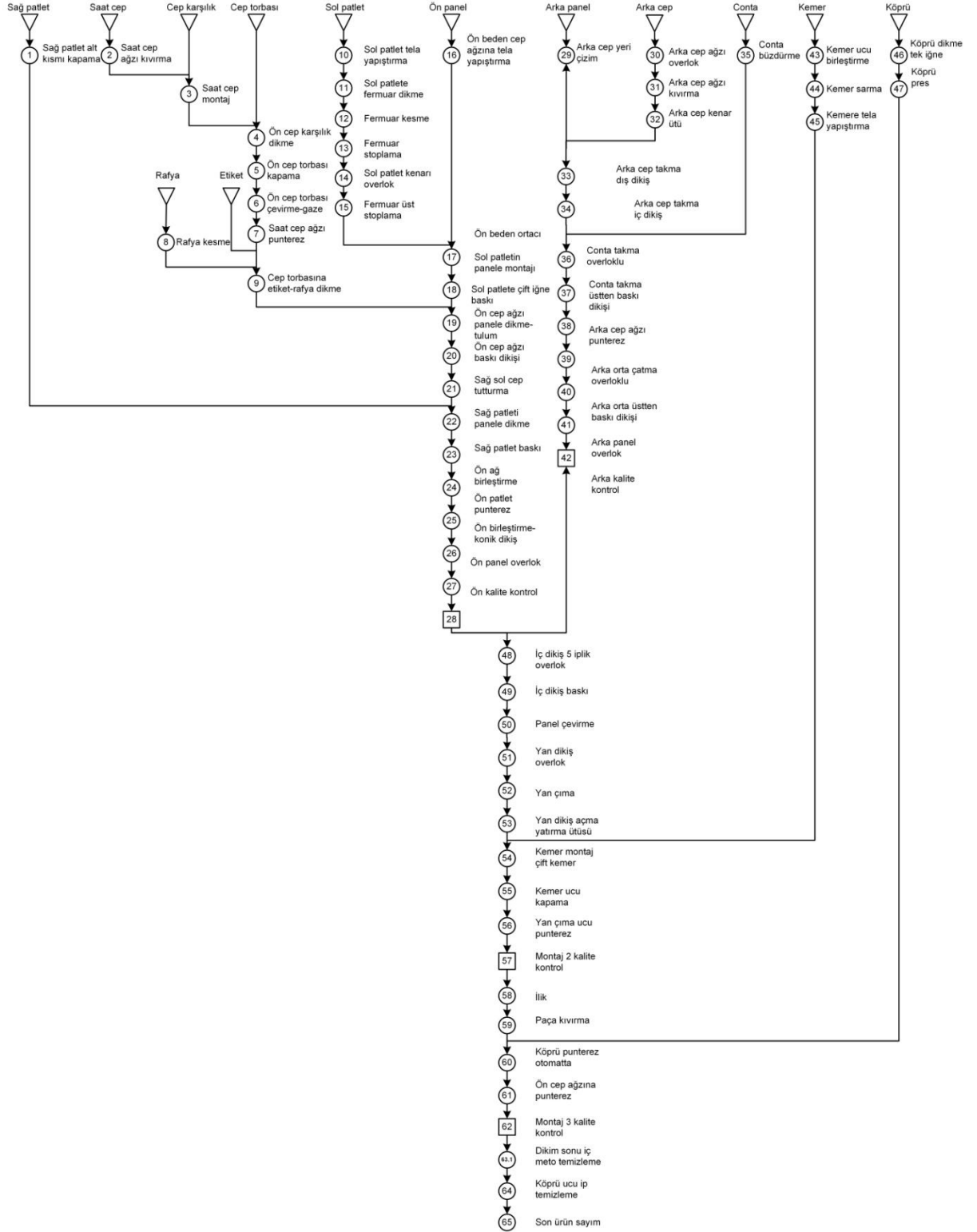
Şekil 3.2. Klasik erkek gömleği modeli iş akışı

Uygulama yapılan bayan denim pantolon modeli teknik çizimi Şekil 3.3’de görülmektedir. Şekil 3.4’de ise bayan denim pantolon modeli iş akışı görülmektedir. Bayan denim pantolon modeli 11 kesili kumaş parçası, 1 yıkama talimatı ve 1 rafya parçasından oluşmaktadır. Yıkamaya gönderilmeden önce yapılan sayım işlemi dâhil toplam 65 operasyon ile üretimi gerçekleştirilmektedir. Bayan denim pantolon dikim bandında toplam 65 kişi çalışmaktadır. İşletmede günlük toplam çalışma saati 9 saat (540 dk.), günlük üretim adedi 1000 adet olarak belirlenmiştir. Hat dengeleme metotları bu çalışma saati ve üretim adedi baz alınarak uygulanmıştır. Bayan denim pantolon modeli çevrim süresi 0,54 dk olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 3.3.** Bayan denim pantolon teknik çizimi

Bayan denim pantolon modelinin operasyon süreleri incelendiğinde 6 adet operasyonun standart süresinin çevrim süresinden fazla olduğu tespit edilmiştir. Hat dengeleme metotlarının uygulanabilmesi için süresi yüksek operasyonlar paralel istasyonlara bölünmüştür. Böylece her operasyonun süresi çevrim süresi altında olacak şekilde düzenlenmiştir.



**Şekil 3.4.** Bayan denim pantolon iş akışı

Çalışma kapsamında yukarıda ayrıntılı açıklanan 10 basit sezgisel hat dengeleme yöntemi hem gömlek hem de denim pantolon verilerine uygulanmıştır. Yöntemler uygulanırken aşağıda belirtilen varsayımlar kabul edilmiştir:

1. Üretim hattında tek bir model üretilmektedir.

2. Bütün operasyonlar işlemde geçmelidir.
3. Her bir model için öncelik ilişkileri bilinmektedir.
4. Görev tamamlanma zamanları deterministik ve iş istasyonlarına atamalardan bağımsızdır.
5. Her bir operasyonun zamanı, diğer operasyonların zamanlarından ve atama sıralarından bağımsızdır.
6. İstasyon süreleri çevrim süresini aşamaz.
7. Çevrim süresini aşmayan operasyonlar bölünemez.
8. Çevrim süresini aşan operasyonlar, süresine göre iki veya daha fazla operasyona bölünerek süreleri çevrim süresinin altına indirilmiştir.
9. Aynı operasyonu gerçekleştiren işçiler aynı kalite ve performansta üretim yapmaktadırlar.
10. Bir görevin tamamı bir istasyonda gerçekleştirilmek zorundadır.
11. Her bir işçi sadece bir iş istasyonuna atanabilir.
12. Bir işçiye birden fazla operasyon atanmış ise, atanmış bütün operasyonları aynı kalite ve performansta ürettiği kabul edilmiştir.
13. Birleştirilen operasyonlar için işlemler arasındaki yürüme zamanları ihmal edilmiştir.
14. Bir istasyon, aynı işi yapan birden fazla işçiden oluşabilir.
15. İstasyonlarda kumaş, malzeme ve makine eksikliği söz konusu değildir.
16. Üretim makine tamir-bakım-ayar faaliyetleri, işçilerin işe gelmemesi vs. gibi nedenlerden dolayı kesintiye uğramamaktadır.

Metotlar uygulandığında bir istasyona birden fazla operasyon atanabilmekte dolayısıyla istasyonda birden fazla makine bulunabilmektedir. Ancak gerçekte hayatta birden fazla makineyi kullanabilme yeteneğine ve isteğe sahip işçi bulmak veya eğitmek mümkün olmamaktadır. Ele alınan problemde yukarıdaki koşulları gerçekleştirmek amacıyla 8 metotta işçiye bağlı kısıtlama getirilerek yeni algoritmalar geliştirilmiştir. İşçiye bağlı kısıtlamada “bir işçi her dikiş makinesini kullanamaz” diye düşünülmüş ve aynı makine grubunda bulunan dikiş makineleri aynı istasyona atanmıştır. Bu şekilde metotlar konfeksiyon üretimine uygun hale getirilmeye çalışılmıştır.

İşgücü kısıtına göre atamada kullanılan makine grupları Çizelge 3.1’de listelenmiştir. El ile yapılan işler, herkes tarafından kolaylıkla kullanılabilen aletler, ayakla kullanılan ve işlemi yaparken kumaşın hareket ettirilmesi gerekmeyen basit makineler “manuel” olarak gruplandırılmıştır.

### Çizelge 3.1. İşgücü kısıtına göre atamada makine grupları

Makine grubu	Makine adı
Düz	Düz dikiş makinesi
	Bıçaklı düz dikiş makinesi
	Çift iğne düz dikiş makinesi
Overlok	3 iplikli overlok makinesi
	4 iplikli overlok makinesi
	5 iplikli overlok makinesi
Zincir	2 iğne zincir dikiş makinesi
	Paça kıvrırma makinesi
	3 iğneli zincir dikiş makinesi
Kollu	2 iğne kollu zincir dikiş makinesi
Reçme	2 iğne reçme dikişli zincir dikiş makinesi
Ütü	Tela pres makinesi
	Biye pres makinesi
	Apartura pres makinesi
	Form pres
	Paskara+ütü
İlik-düğme-punterez	İlik makinesi
	Düğme makinesi
	Punterez makinesi
	İlik açma otomatı
Köprü punterez otomatı	
Manuel	Malzeme-kumaş kesme/regüle
	Kemer sarma
	Ürün sayma
	Kalite kontrol-Ölçü kontrol
	Ürün tersyüz çevirme
	İp temizleme
	Şablonla çizim yapma
	Meto temizleme
	Yaka ucu kesme çevirme
	Yaka giyotin kesme
	Vakum makinesi
	Giysi üzerine malzeme takma
	Ambalajlama

### 3.2. Standart Süre Tespiti

Bir zaman etüdü çalışmasının yapılması genellikle aşağıdaki sekiz adımdan oluşur;

1. İşin yapılışını etkilemesi mümkün olan iş, operasyon ve çevre koşulları hakkındaki tüm bilgilerin elde edilmesi ve kaydedilmesi.
2. Yöntemin tam bir tanımının yapılması ve işlemin elementlere ayrılması.

En etkili yöntemin ve hareketlerin kullanıldığından emin olmak için, işin detaylı olarak incelenmesi ve gerekli gözlem sayısının belirlenmesidir.

İhtiyaç duyulan gözlem sayısını hesaplamak için istatistiksel yöntem kullanılmaktadır. İstatistiksel yöntemde, önce birkaç ön gözlem (n') yapılmalıdır. Daha sonra %90 güven aralığı ve ± %10 hata payı için aşağıdaki formül çözümlenmelidir;

$$n = \left[ \frac{40 \sqrt{(n' * \sum x^2 - (\sum x)^2)}}{\sum x} \right]^2 \quad (3.1)$$

n = Saptanmak istenen örnek büyüklüğü

n' = Ön etütle alınan gözlem (okuma) sayısı

Σ = Değerlerin toplamı

x = Okumaların değeri

3. Operasyonun her bir elementinin süresinin bir kronometre ile kaydedilmesi.
4. Aynı zamanda, standart randımana karşılık gelen oranda, çalışmanın etkin hızının değerlendirilmesi.
5. Temel zamanların hesaplanması.

$$\text{Temel zaman} = \text{Gözlemlenen zaman} * \text{Randıman derecesi} \quad (3.2)$$

6. Operasyon için temel zamanın üzerine eklenecek toleransların belirlenmesi.
7. Operasyon için 'standart zaman'ın belirlenmesi.

$$\text{Standart Zaman} = \text{Temel zaman} + \text{Toleranslar} \quad (3.3)$$

Üretimde akış sırası dikkate alınarak iş öğelerinin süreleri dijital kronometre ile ölçülmüştür. Her bir operasyon için 30 adet gözlem yapılmış, gözlem adetlerinin geçerliliği istatistiksel olarak kontrol edilmiştir. Gözlemler sonunda elde edilen sürelerin ortalama temel zamanları bulunmuştur. Daha sonra bu temel zamanlara payların oluşturduğu tolerans eklenmiştir. Toleransı oluşturan bu paylardan kişisel ihtiyaç payı için standart kabul edilen yüzdeler; erkekler için temel zamanın %5'i, kadınlar için %7'si alınmıştır. Temel yorgunluk payı için standart kabul edilen yüzdelik değer hem erkek hem kadında aynı olup %4 olarak alınmıştır. Sabit ve değişken payların hesaplanmasında ise Çizelge 3.2 kullanılmıştır.

Yapılan gözlemler sonucunda elde edilen sonuçlar REFA formlarına kaydedilmiştir. Bandı oluşturan her bölümün iş öğeleri için yapılan 30 adet gözlem sonucunda elde edilen temel zaman, eklenen paylar ve bunların sonucunda hesaplanan standart zaman değerleri belirtilmiştir. Tüm operasyonlar için yapılan 30 adet gözlem %90 güven aralığını sağladığından ek gözlemlere gerek kalmamıştır.

**Çizelge 3.2.** Dinlenme payları (Kurt ve Dağdeviren 2003)

A. SABİT PAYLAR		E	K			E	K
1. Kişisel ihtiyaç payı	5	7		7. Havalandırma Şartları			
2. Temel yorgunluk payı	4	4		Açık hava	0	0	
<b>B. DEĞİŞKEN PAYLAR</b>				Kötü havalandırılmış	5	5	
3. Ayakta Durma	2	4		Fırın vb. yakın iş	5	15	
4. Anormal Pozisyon				8. Gürültü			
Zora yakın	0	1		Sürekli	0	0	
Eğilmiş	2	3		Ani ve yüksek	2	2	
Yere yatmış	7	7		Ani ve çok yüksek	5	5	
5. Ağırlık Kaldırma (kg)				Tiz ve yüksek	5	5	
2,5	0	1		9. Görsel Zorlanma			
5	1	2		Dikkat gerektiren iş	0	0	
7,5	2	3		İnce iş	2	2	
10	3	4		Çok ince iş	5	5	
12,5	4	6		10. Zihinsel Zorlanma			
15	6	9		Oldukça karmaşık	1	1	
17,5	8	12		Uzun süre dikkat ger. iş	4	4	
20	10	15		Çok karmaşık	8	8	
22,5	12	18		11. Zihinsel Monotonluk			
25	14	-		Düşük	0	0	
30	19	-		Orta	1	1	
40	33	-		Yüksek	4	4	
50	58	-		12. Fiziksel Monotonluk			
6. Aydınlatma Şartları				Az yorucu	0	0	
(Öngörülen değer)				Yorucu	1	2	
Az altında	0	0		Çok Yorucu	2	5	
Çok altında	2	2					
Tamamen yetersiz	5	5					

### 3.3. Algoritmalar için Uygulanan Geliştirmeler

Önceden belirlenen üretim kapasitesine göre hat dengeleme yöntemi ve darboğaz yönteminde işçinin her makineyi kullanamama kısıtı uygulama sırasında dikkate alındığı için bu algoritmalarda bir geliştirme yapılmamıştır. Ancak şunu belirtmek gerekir ki; önceden belirlenen üretim kapasitesine göre hat dengeleme yönteminde, öncel operasyonların ilişkisi göz ardı edilmekte, uygulayıcının operasyon bilgisine bırakılmaktadır. Diğer algoritmalar, öncel operasyon ilişkisini ayrıntılı ele aldığı ve söz konusu algoritmalara makine uygunluğu hakkında iyileştirme yapıldığı için, önceden belirlenen üretim kapasitesine göre hat dengeleme yönteminde bir geliştirme yapılmamıştır.

Öte yandan darboğaz yönteminin konfeksiyon uygulaması sırasında genellikle usta başının yaptığı dinamik atamalarla, çalışanlar operasyonlar arasında hareket etmektedir. Aynı şekilde yeni bir operasyona atanan çalışan, usta başının bilgisi dahilinde, kendi yeteneklerine uygun bir makinaya yönlendirilmektedir. Bu nedenle, darboğaz yönteminin iyileştirilmesi çalışma kapsamı dışında tutulmuştur. Ayrıca bu tip dinamik atamalarda, çalışanın kaç parça ürettikten sonra makine değiştirmesi gerektiği konusu farklı bir araştırmayı gerektirmekte ancak üzerinde durulması gereken bir konudur.

Bir çalışana atanabilecek makine grupları Çizelge 3.1’de ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken husus şudur; temelde 8 farklı makine grubu ele alınmıştır. Bu gruplar oluşturulurken, üretim yapılan işletmenin çalışanları ve ustabaşlarından sözlü olarak teyit alınmış, her ne kadar bazı çalışanlar farklı gruptaki makineleri çok iyi kullanma yeteneğine sahip olsa da bu tip çalışan sayısı azınlığı oluşturduğu için atamalar sırasında grup içinde kalmaya dikkat edilmiştir. Örneğin bir çalışan düz dikiş makinesi kullanılabiliriyorsa, overlök ya da zincir dikiş makinesi kullanmayacağı öngörülmüştür. Bunların dışında, manuel işler tüm çalışanlar tarafından gerçekleştirilebilir nitelik taşıdığı için herhangi bir çalışan tarafından kolayca yapılabileceği varsayılmıştır. Diğer herhangi bir makine grubuyla kolayca atanabileceği öngörülmüştür.

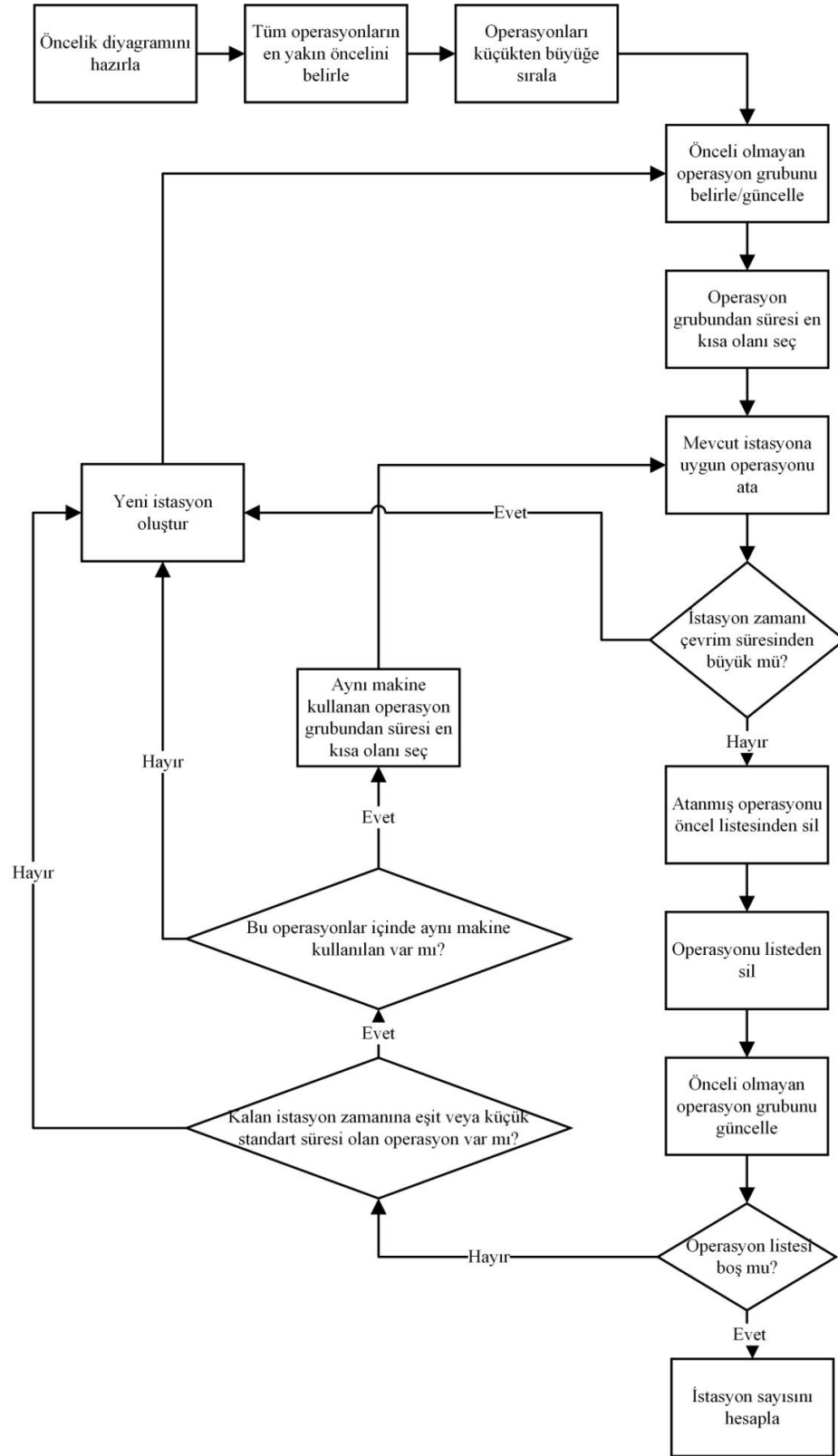
Geliştirme yapılan algoritmalar tek tek incelendiğinde;

En kısa işlem süresi yönteminde işçiye bağlı kısıtlama bulunmamaktadır. Özgün algoritma akış diyagramı Şekil 2.14’te verilmiştir. Şekil 3.5’te görüldüğü üzere en kısa işlem süresi yönteminde kalan istasyon zamanına eşit veya küçük standart süresi olan operasyonlar belirlendikten sonra, Şekil 2.14’te verilen algoritmadan farklı olarak öncelikle benzer makinelerin olduğu operasyonlar, ardından bu makine grubu için en kısa süreye sahip olan operasyon istasyona atanmaktadır.

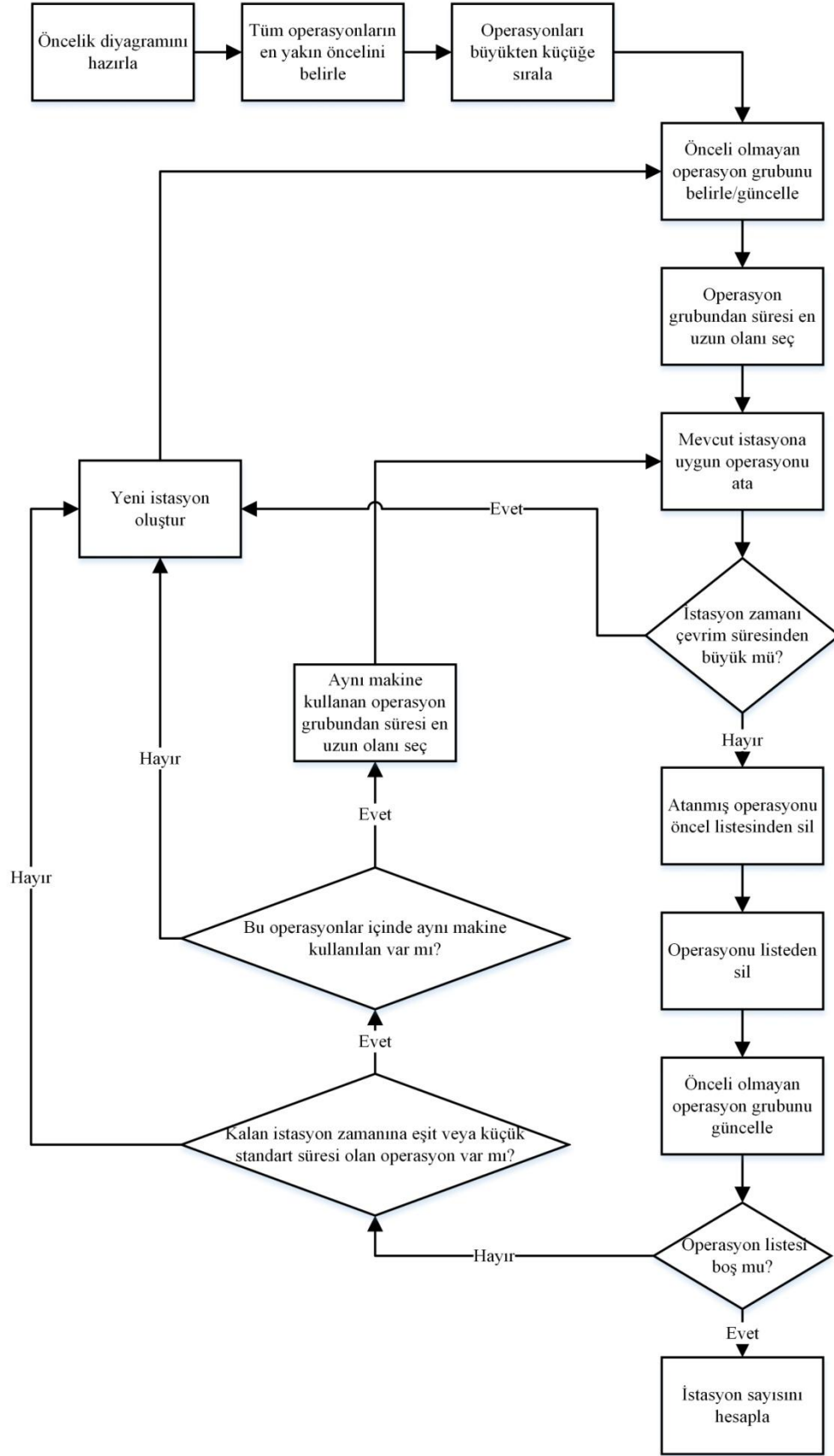
En uzun işlem süresi hat dengeleme metodunda Şekil 3.6’da görüldüğü üzere, kalan istasyon zamanına eşit veya küçük standart süresi olan operasyonlar belirlendikten sonra, Şekil 2.15’te verilen algoritmadan farklı olarak öncelikle benzer makinelerin olduğu operasyonlar, ardından bu makine grubu içinde en uzun süreye sahip olan operasyon istasyona atanmaktadır.

Takip eden operasyonların azlığı hat dengeleme metodu için Şekil 3.7’de görüldüğü üzere, kısıtlı işçi koşullarında uygulandığında, kalan istasyon zamanına eşit veya küçük standart süresi olan operasyonlar belirlendikten sonra, Şekil 2.16’da verilen algoritmadan farklı olarak öncelikle benzer makinelerin olduğu operasyonlar, ardından bu makine grubu içinde kendinden sonra gelen operasyon sayısı toplamı en az olan operasyon istasyona atanmaktadır.

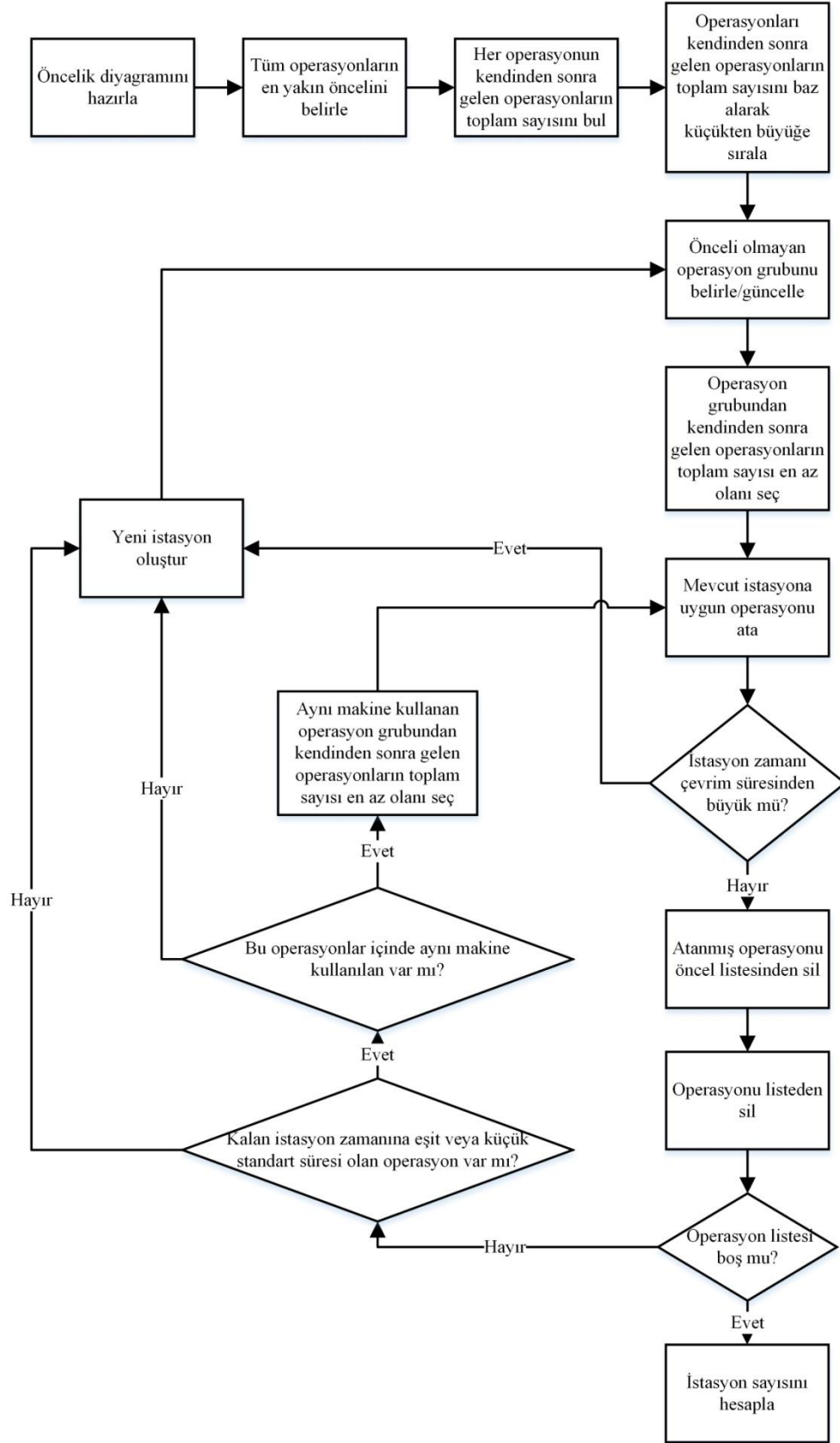




**Şekil 3.5.** En kısa işlem süresi yöntemi kısıtlı işçi koşullarında geliştirilmiş algoritma akış diyagramı



Şekil 3.6. En uzun işlem süresi yöntemi kısıtlı işçi koşullarında geliştirilmiş algoritma akış diyagramı



Şekil 3.7. Takip eden operasyonların azlığı yöntemi kısıtlı işçi koşullarında geliştirilmiş algoritma akış diyagramı

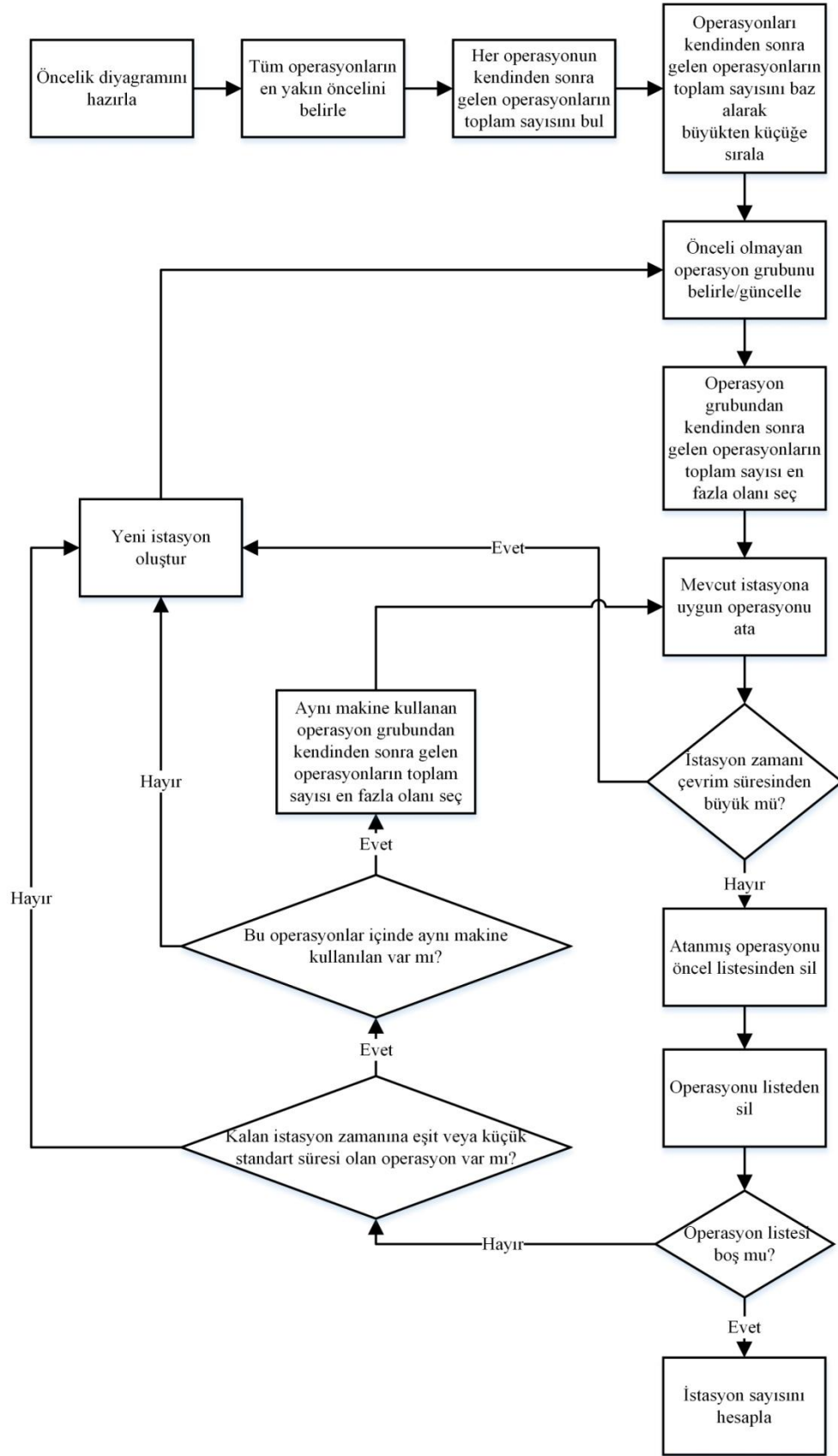
Takip eden operasyonların fazlalığı hat dengeleme metodunda ise Şekil 3.8’de görüldüğü üzere kısıtlı işçi koşullarında uygulandığında, kalan istasyon zamanına eşit veya küçük standart süresi olan operasyonlar belirlendikten sonra, Şekil 2.17’de verilen algoritmadan farklı olarak öncelikle benzer makinelerin olduğu operasyonlar, ardından bu makine grubu içinde kendinden sonra gelen operasyon sayısı toplamı en fazla olan operasyon istasyona atanmaktadır.

Sıralı konum ağırlığı hat dengeleme metoduna kısıtlı işçi koşulları eklemek için Şekil 2.13’de verilen özgün yöntemden farklı olarak, kalan istasyon zamanına eşit veya küçük standart süresi olan operasyonlar belirlendikten sonra, öncelikle benzer makinelerin olduğu operasyonlar, ardından bu makine grubu içinde konum ağırlığı en yüksek olan operasyon istasyona atanmaktadır (Şekil 3.9.).

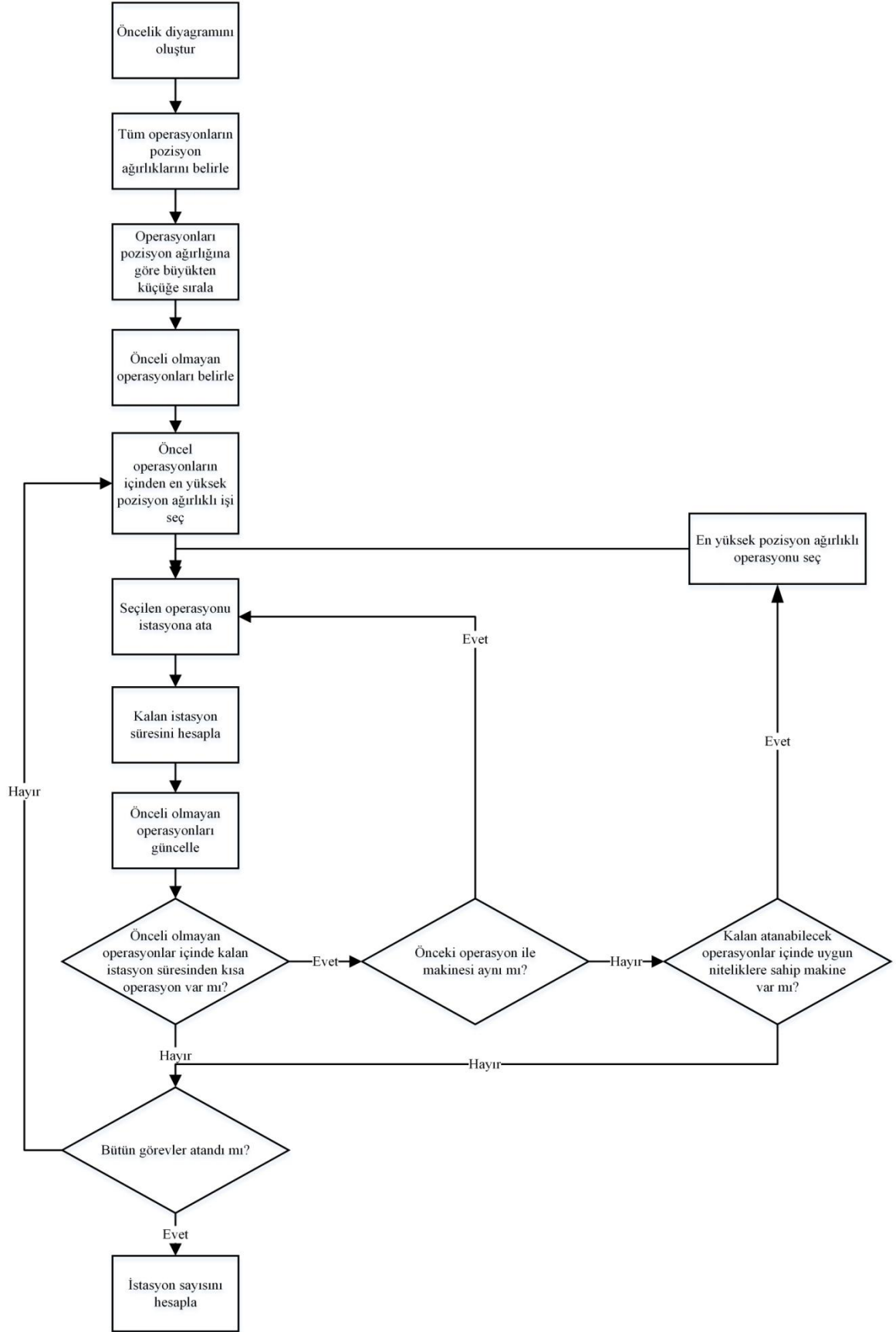
Sezgisel artırımı hat dengeleme metodunda özgün yöntemin akış diyagramı Şekil 2.20’de verilmiştir. Şekil 3.10’da görüldüğü üzere, en yakın önceli olmayan operasyonlar içinde öncelikle benzer makinelerin olduğu operasyonlar belirlenir, ardından bu benzer makine grubu içinde birden fazla operasyon olması durumunda, öncelik temel prensibini bozmayacak şekilde gerekli atamlar gerçekleştirilir. Ancak öncelik prensipleri net bir kurala dayanmadığı için, uygulayıcı atamlar sırasında farklı atama olasılıklarını düşünmek zorundadır. Özellikle çok operasyonlu üretimlerde bu durum, olasılık sayısını arttırmaktadır.

Kilbridge-Wester hat dengeleme metodunda orijinal algoritma akış diyagramı Şekil 2.21’de verilmiştir. Şekil 3.11’de görüldüğü üzere Kilbridge-Wester hat dengeleme metodunda, istasyon içine atacak operasyon belirlenirken, kalan istasyon zamanına eşit veya küçük standart süresi olan operasyonlar saptandıktan sonra, öncelikle önceli olmayan operasyonlar, ardından benzer makinelerin olduğu operasyon grubu tespit edilir. Benzer makine kullanan operasyon grubundan kalan istasyon zamanını tamamlayacak şekilde bir veya daha fazla operasyon sütunlar arasında kaydırılarak ilgili istasyona atanmaktadır.

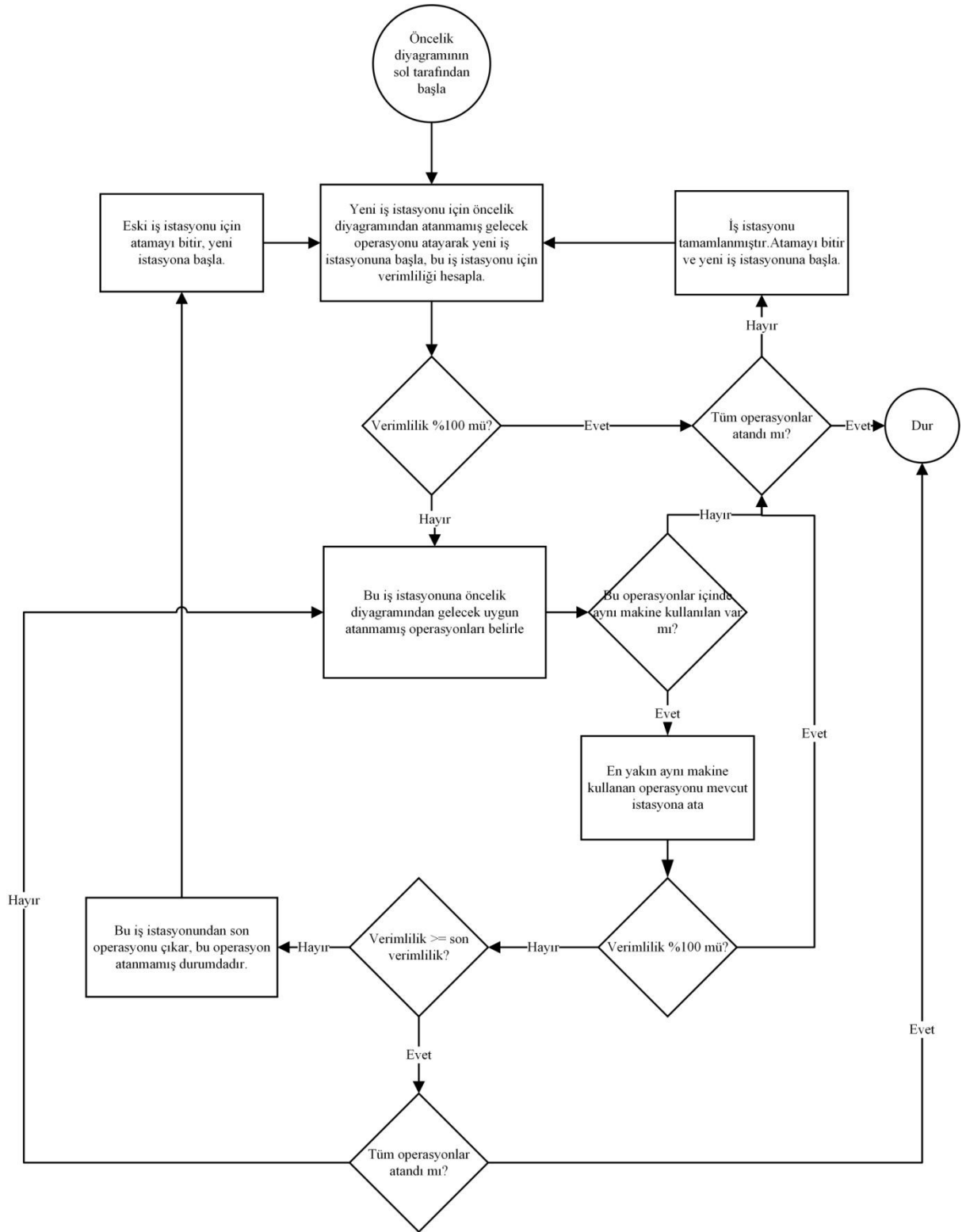
Probabilistik hat dengeleme yönteminin özgün algoritma akış diyagramı Şekil 2.22’de verilmiştir. Şekil 3.12’te görüldüğü üzere kısıtlı işçi koşulları uygulanan yöntemde, kalan istasyon zamanına eşit veya küçük standart süresi olan operasyonlar belirlendikten sonra, Şekil 2.20’de verilen algoritmadan farklı olarak en yakın önceli olmayan operasyonlar içinde öncelikle benzer makinelerin olduğu operasyonlar, ardından bu benzer makine grubu içinde süresi en uzun operasyon seçilmektedir. İstasyona atanan operasyonların Z değeri hesaplanıp istatistiksel karşılaştırması yapılmaktadır. Sonuca göre operasyonun ataması kesinleştirilmekte ya da operasyon ilgili istasyondan çıkarılmaktadır.



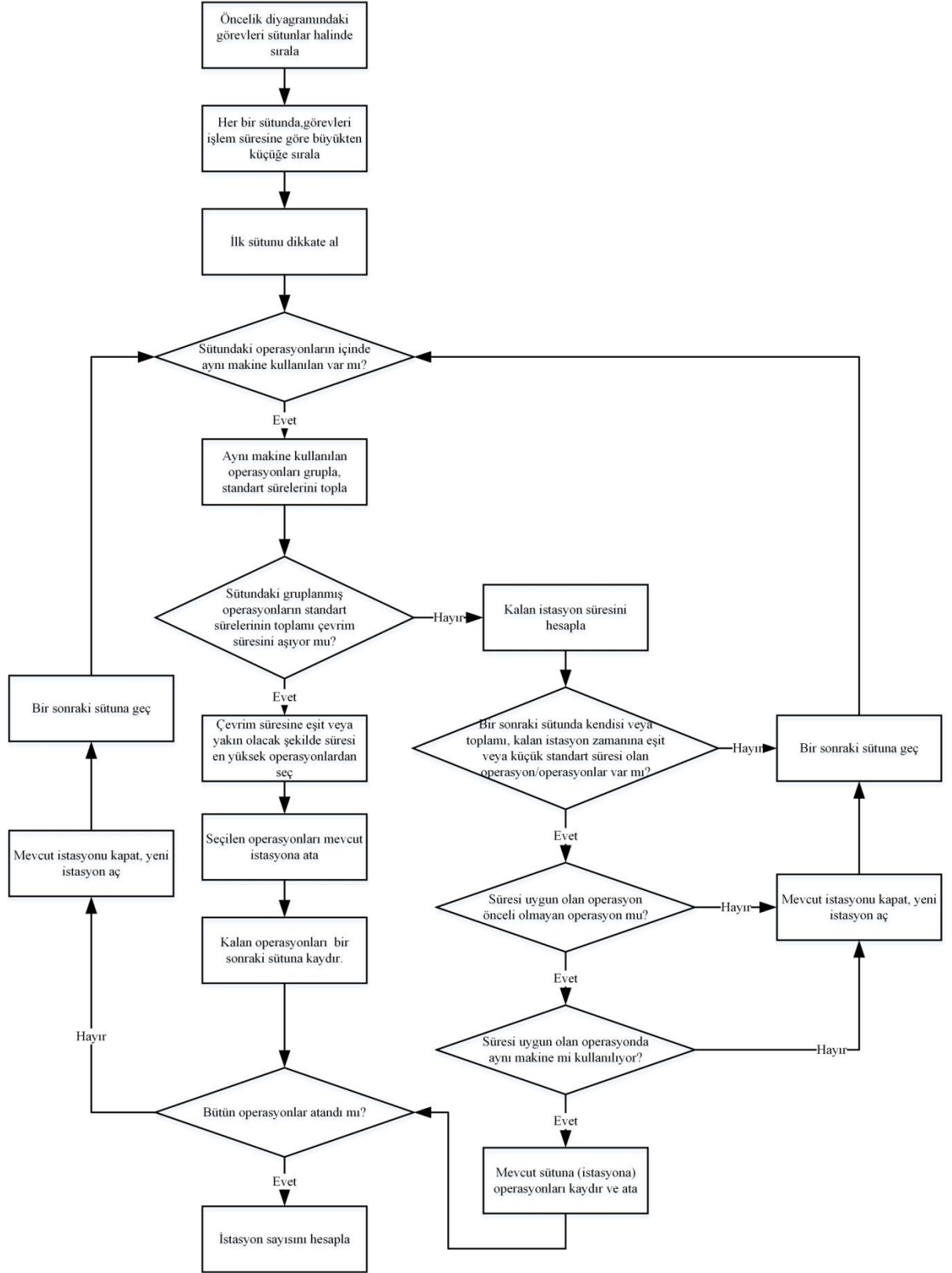
**Şekil 3.8.** Takip eden operasyonların fazlalığı yöntemi kısıtlı işçi koşullarında geliştirilmiş algoritma akış diyagramı



Şekil 3.9. Sıralı konum ağırlığı yöntemi kısıtlı işçi koşullarında geliştirilmiş algoritma akış diyagramı

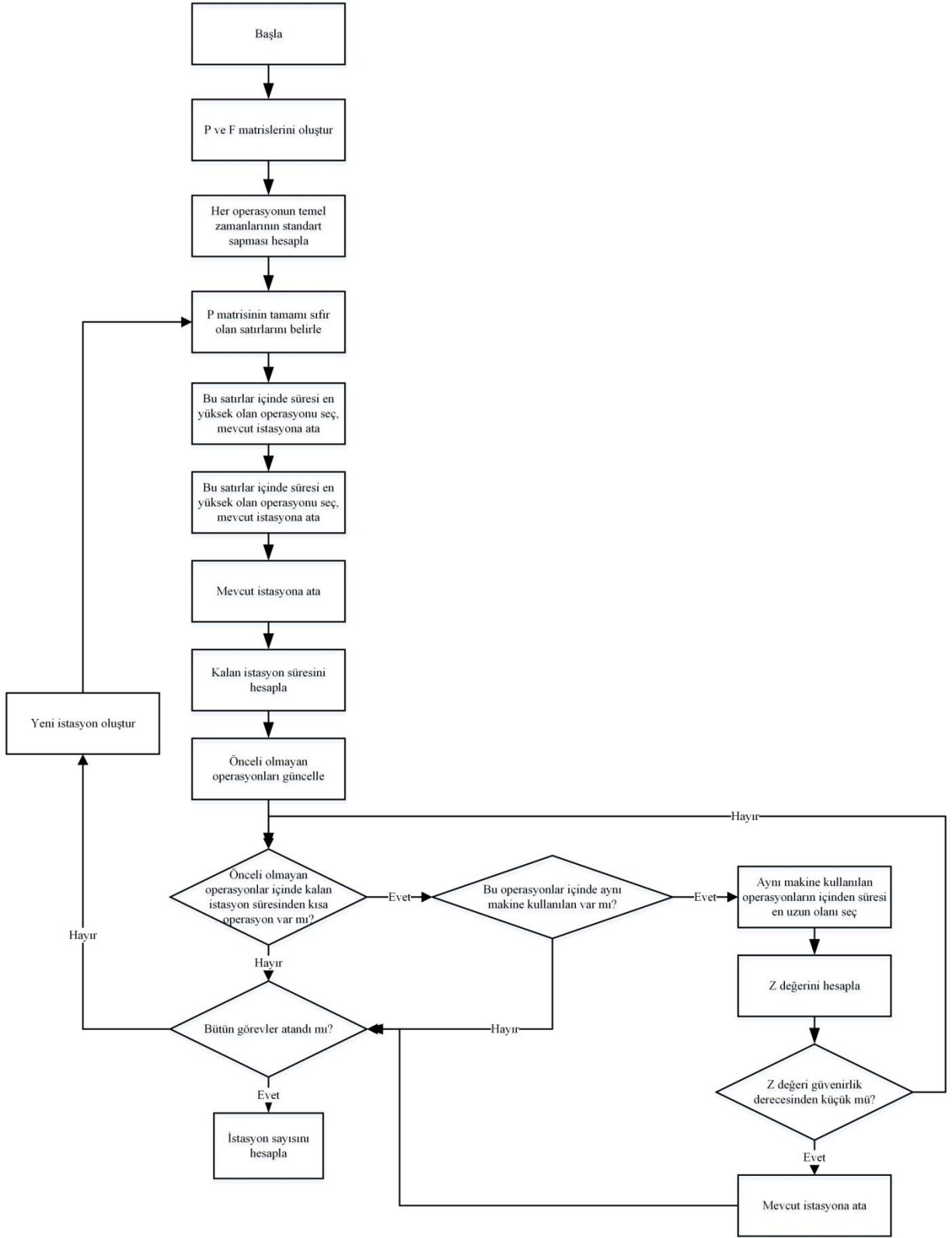


**Şekil 3.10.** Sezgisel artırılmış verimlilik yöntemi kısıtlı işçi koşullarında geliştirilmiş algoritma akış diyagramı



Şekil 3.11. Kilbridge-Wester yöntemi kısıtlı işçi koşullarında geliştirilmiş algoritma akış diyagramı





**Şekil 3.12.** Probabilistik hat dengeleme yöntemi kısıtlı işçi koşullarında geliştirilmiş algoritma akış diyagramı

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde klasik erkek gömleği ve bayan denim pantolon için firmadan alınan operasyonların standart süreleri, 10 farklı orijinal ve 8 farklı geliştirilmiş hat dengeleme algoritmasının uygulaması ile elde edilen bulgular sunulmaktadır. Tüm uygulamalar MS Excel programında manuel olarak gerçekleştirilmiştir.

##### 4.1. Operasyon Standart Sürelerinin Hesaplanması

Hem gömlek hem de bayan denim pantolonu modeli için toplam 130 operasyon için zaman etüdü uygulaması gerçekleştirilmiştir. İlk olarak operasyonlar kendi içinde elementlere ayrılmış, daha sonra her element için toplamda 30 adet etüt alınmıştır. Tüm etütlerin varyasyonları %90 güven aralığı için (3.1)'de verilen denklem yardımıyla kontrol edilmiştir. Yapılan incelemelerde 30 adet etüt verisinin tüm operasyonlar için yeterli olduğu tespit edilmiş, ek gözlem yapmaya gerek kalmamıştır.

Şekil 4.1'te gömlek için gerçekleştirilen yaka birleştirme operasyonunun etüt formu örneği gösterilmektedir. Görüldüğü üzere bu işleme ait temel zaman değeri 30,59 sn olarak saptanmıştır. Çalışmanın devamında tüm operasyonlar için temel zamanlara gerekli payların eklenmesiyle, standart birim süreler hesaplanmıştır.

Nr	İşlem kademesi ve ölçüm noktası	İlgili miktar	Etken faktör	Etik. Fak. Birim	Tekrar Kısmı mik.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	$\sum L/n$	$\bar{L}$	$t = \frac{\bar{L}}{100} \cdot \bar{t}_i$	zaman türü							
1	Yakaları üst üste yerleştirme, baskı ayarını indirme	1			L	110															110/1	110	6,79	sn							
					ti	5,5	7,02	5,49	5,79	5,63	6,31	5,03	5,7	6,72	6,27	8,43	7,6	4,9	6,7	5,6											
					S																										
2	Üst kenar yaka dikme	1			L																110/1	110	10,34	sn							
					ti	7,8	8,9	9,66	9,11	10,3	9,09	12,11	9,38	8,43	9,82	9,41	8,32	9,7	9,18	9,9											
					S																										
3	Çevime, yaka kısa kenar dikme	1			L																110/1	110	4,62	sn							
					ti	3,9	4,44	3,8	4,19	4,53	4,73	4,15	4,35	3,7	4,01	3,59	4,34	3,85	5,03	4,6											
					S																										
4	Çevime, yaka kısa kenar dikme	1			L																110/1	110	5,3	sn							
					ti	5,2	4,48	4,54	4,71	5,1	4,52	5	5,12	4,57	4,53	5,25	5,56	4,67	4,57	4,6											
					S																										
5	Parça kontrolü	1			L																110/1	110	2,32	sn							
					ti	1,4	2,43	2,82	1,67	1,76	2,57	1,75	2,4	2,38	1,35	2,31	2,36	2,93	1,57	2											
					S																										
6	Demet açma, yerleştirme	15			L																100/1	100	18,3/15 = 1,22								
					ti																										
					S																										
n	k	tz (Çevrim zamanları toplam)																		0		$\sum t$	30,59	sn							
		Rz (S ölçüm için değer aralığı)																		0											
															$\epsilon =$	$\hat{\epsilon} =$	$n = 3$														

Şekil 4.1. Yaka birleştirme operasyonu etüt formu örneği

Gömlek için hesaplanan temel zamanlar, verilen paylar, standart süreler ve kullanılan makine tipleri Çizelge 4.1’de hazırlık bölümü operasyonları için, Çizelge 4.2’de montaj ve ütü-paket bölümü operasyonları için ayrıntılı olarak verilmektedir.

**Çizelge 4.1.** Gömlek hazırlık bölümü operasyonların standart süreleri

Operasyon no	Kullanılan makine-alet	Temel süre sn	Paylar (%)	Standart süre (sn)	Standart süre (dk)
1	Düz paskara-ütü	34,24	15	39,4	0,66
2	Düz dikiş makinesi	47,14	11	52,3	0,87
3	Düz dikiş makinesi	19,37	11	21,5	0,36
4	Kilit dikişli düğme dikme makinesi	5,91	11	6,6	0,11
5	Kilit dikişli düğme dikme makinesi	2,87	11	3,2	0,05
6	Manuel işlem-Makas	1,5	11	1,7	0,03
7	Düz dikiş makinesi	11,66	11	12,9	0,22
8	Overlok makinesi	36,07	11	40,0	0,67
9	Düz dikiş makinesi	12,31	11	13,7	0,23
10	Düz paskara-ütü	5,73	15	6,6	0,11
11	Reçme makinesi-2 iğneli 4 iplikli	22,83	11	25,3	0,42
12	Manuel işlem-Makas	3,29	11	3,7	0,06
13	Düz paskara-ütü	6,87	15	7,9	0,13
14	Manuel işlem-Makas	20,34	15	23,4	0,39
15	Kilit dikişli ilik açma otomatı	25,6	15	29,4	0,49
16	Kıstırma aparatlı düz masa	18	15	20,7	0,35
17	Kilit dikişli düğme dikme makinesi	14,98	11	16,6	0,28
18	Overlok makinesi	10,93	11	12,1	0,20
19	Düz dikiş makinesi	10,11	11	11,2	0,19
20	Düz dikiş makinesi	30,31	11	33,6	0,56
21	Yaka ucu kesme-çevirme makinesi	6,19	11	6,9	0,11
22	Yaka form pres makinesi	9,37	15	10,8	0,18
23	Düz dikiş makinesi	31,32	11	34,8	0,58
24	Yaka kesme makinesi-giyotin	7,75	11	8,6	0,14
25	Bıçaklı düz dikiş makinesi	32,91	11	36,5	0,61
26	Düz dikiş makinesi	26,08	11	28,9	0,48
27	Düz paskara-ütü	7,86	15	9,0	0,15
28	Düz paskara	12,98	15	14,9	0,25
29	Overlok makinesi	7,08	11	7,9	0,13
30	Kilit dikişli düğme dikme makinesi	10,1	11	11,2	0,19
31	Kilit dikişli ilik açma makinesi	14,15	11	15,7	0,26
32	Apartura pres makinesi	14,67	15	16,9	0,28
33	Biye pres makinesi	14,37	15	16,5	0,28
34	Düz dikiş makinesi	31,81	11	35,3	0,59
35	Düz dikiş makinesi	67,05	11	74,4	1,24
36	Manuel işlem-Makas	7,08	11	7,9	0,13
37	Kilit dikişli ilik açma makinesi	11,58	11	12,9	0,21
38	Kilit dikişli düğme dikme makinesi	10,06	11	11,2	0,19
39	Düz dikiş makinesi	14,51	11	16,1	0,27
40	Düz dikiş makinesi	34,92	11	38,8	0,65
41	Manuel işlem	4,26	11	4,7	0,08
42	Düz paskara-ütü	22,37	15	25,7	0,43
43	Düz dikiş makinesi	59,86	11	66,4	1,11
44	Manuel işlem	4,59	11	5,1	0,08
45	Kilit dikişli ilik açma makinesi	10,76	11	11,9	0,20
46	Kilit dikişli düğme dikme makinesi	19,1	11	21,2	0,35

**Çizelge 4.2.** Gömlek montaj ve ütü paket bölümü operasyonların standart süreleri

Operasyon no	Kullanılan makine-alet	Temel süre sn	Paylar (%)	Standart süre (sn)	Standart süre (dk)
47	Manuel işlem	20,09	15	23,1	0,39
48	Düz dikiş makinesi	26,76	11	29,7	0,50
49	Düz dikiş makinesi	42,77	11	47,5	0,79
50	Düz dikiş makinesi	46,44	11	51,5	0,86
51	Reçme makinesi-2 iğneli 4 iplikli	46,98	11	52,1	0,87
52	Düz dikiş makinesi	42,9	11	47,6	0,79
53	Kollu zincir dikiş makinesi-2 iğne- 4 iplik	58,52	11	65,0	1,08
54	Düz dikiş makinesi	65,85	11	73,1	1,22
55	Düz dikiş makinesi	44,7	11	49,6	0,83
56	Manuel işlem	146,96	15	169,0	2,82
57	Vakum makinesi	20,62	15	23,7	0,40
58	U Formlu paskara-ütü	95,38	15	109,7	1,83
59	Yaka basma form ütü makinesi	13,62	15	15,7	0,26
60	Manuel işlem	25,04	15	28,8	0,48
61	Manuel işlem	8,9	15	10,2	0,17
62	Kilit dikişli düğme dikme makinesi	11,44	11	12,7	0,21
63	Manuel işlem	53,84	15	61,9	1,03
64	Manuel işlem+lazer	21,27	15	24,5	0,41
65	Manuel işlem	29,27	15	33,7	0,56

Bayan pantolonu için hesaplanan temel zamanlar, verilen paylar, standart süreler ve kullanılan makine tipleri, Çizelge 4.3'te montaj bölümü operasyonları için, Çizelge 4.4'te hazırlık operasyonları için ayrıntılı olarak verilmektedir.

**Çizelge 4.3.** Denim pantolon montaj bölümü operasyonların standart süreleri

Operasyon no	Kullanılan makine-alet	Temel süre sn	Paylar (%)	Standart süre (sn)	Standart süre (dk)
46	Düz dikiş makinesi	11,31	11	12,55	0,209
47	Pres makinesi	13,47	15	15,49	0,258
48	5 iplik overlok	39,11	15	44,98	0,750
49	Kollu makine tek iğneli	18,82	15	21,64	0,361
50	Manuel	8,21	15	9,44	0,157
51	2 iplik zincir dikiş makinesi	37,42	15	43,03	0,717
52	Düz dikiş makinesi	22,91	11	25,43	0,424
53	Ütü paskarası-ütü	21,32	15	24,52	0,409
54	4 iplik zincir dikiş makinesi	23,44	15	26,96	0,449
55	Düz dikiş makinesi	48,65	11	54,00	0,900
56	Punterez makinesi-kilit dikişli	12,58	11	13,96	0,233
57	Manuel	8,86	15	10,19	0,170
58	İlik makinesi	5,81	15	6,68	0,111
59	Paça kıvrırma makinesi	22,22	11	24,66	0,411
60	Köprü punterez otomatı	15,38	15	17,69	0,295
61	Punterez makinesi-kilit dikişli	9,14	11	10,15	0,169
62	Manuel	4,34	15	4,99	0,083
63	Manuel	36,25	15	41,69	0,695
64	İplik temizleme makinesi	12,96	15	14,90	0,248
65	Manuel	2,47	15	2,84	0,047

**Çizelge 4.4.** Denim pantolon hazırlık bölümü operasyonların standart süreleri

Operasyon no	Kullanılan makine-alet	Temel süre sn	Paylar (%)	Standart süre (sn)	Standart süre (dk)
1	Düz dikiş makinesi	8,13	11	9,02	0,150
2	Düz dikiş makinesi	9,01	11	10,00	0,17
3	Çift iğne düz dikiş makinesi	15,57	11	17,28	0,288
4	Reçme makinesi 3 iğneli	11,35	11	12,60	0,210
5	Bıçaklı düz dikiş makinesi	12,98	11	14,41	0,240
6	Düz dikiş makinesi	16,21	11	17,99	0,300
7	Punterez makinesi-kilit dikişli	6,72	11	7,46	0,124
8	Isıtılmalı metal kesme teli aparatı	0,505	11	0,56	0,009
9	Düz dikiş makinesi	12,43	11	13,80	0,230
10	Tela yapıştırma makinesi	3,34	15	3,84	0,064
11	4 iplik-2 iğneli zincir dikiş makinesi	2,53	11	2,81	0,047
12	Fermuar dış kırma makinesi	4,1	11	4,55	0,076
13	Elçik ve stoper takma makinesi	6,25	11	6,94	0,116
14	3 iplik overlok makinesi	4,92	15	5,66	0,094
15	Stoper takma makinesi	4,09	15	4,70	0,078
16	Ütü paskarası-ütü	19,65	15	22,60	0,377
17	Düz dikiş makinesi-aparatlı	9,07	11	10,07	0,168
18	Çift iğne düz dikiş makinesi tek iğne	11,46	11	12,72	0,212
19	Düz dikiş makinesi	24,21	11	26,87	0,448
20	Çift iğne düz dikiş makinesi	23,96	11	26,60	0,443
21	Düz dikiş makinesi	26,67	11	29,60	0,493
22	4 iplik overlok makinesi	19,24	15	22,13	0,369
23	Düz dikiş makinesi	17,39	11	19,30	0,322
24	Çift iğne düz dikiş makinesi tek iğne	12,39	11	13,75	0,229
25	Punterez makinesi-kilit dikişli	9,18	15	10,56	0,176
26	Çift iğne düz dikiş makinesi tek iğne	9,07	11	10,07	0,168
27	3 iplik overlok makinesi	26,2	15	30,13	0,502
28	Manuel	12,48	15	14,35	0,239
29	Manuel	17,77	15	20,44	0,341
30	3 iplik overlok makinesi	7,81	11	8,67	0,144
31	2 iplik-tek iğne zincir dikiş makinesi	16,06	11	17,83	0,297
32	Ütü paskarası-ütü	26,92	15	30,96	0,516
33	Düz dikiş makinesi	40,13	11	44,54	0,742
34	Düz dikiş makinesi	38,65	11	42,90	0,715
35	Düz dikiş makinesi	12,76	11	14,16	0,236
36	5 iplik overlok	20,67	11	22,94	0,382
37	2 iğne zincir dikiş makinesi	18,03	11	20,01	0,334
38	Punterez makinesi-kilit dikişli	13,66	11	15,16	0,253
39	5 iplik overlok	15,41	11	17,11	0,285
40	kollu makine çift iğneli	10,9	11	12,10	0,202
41	3 iplik overlok makinesi	26,09	15	30,00	0,500
42	Manuel	7,05	15	8,11	0,135
43	2 iplik-tek iğne zincir dikiş makinesi	9,47	15	10,89	0,182
44	Sarma aparatı	2,2	15	2,53	0,042
45	Tela presi	6,92	15	7,96	0,133

#### 4.2. Klasik Erkek Gömleği Araştırma Bulguları

Klasik erkek gömleğinde uygulanan hem özgün metot hem de geliştirilen metotların hat verimliliği sonuçları Çizelge 4.5'te görülmektedir.

En kısa işlem yöntemine göre atandığında 85 adet operasyon 65 adet istasyona atanarak hat dengelemesi yapılmıştır. Hat verimlilik formülü ile hesaplama yapıldığında %75 oranında hat verimliliği elde edilmiştir. Kısıtlı işçi koşullarında geliştirilen yeni metotla ise hat verimliliği %73 olarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 4.5.** Klasik erkek gömleği tüm yöntemlerin sonuçları

Yöntemin Adı	İstasyon sayısı		Hat verimliliği	
	Özgün yöntem	Geliştirilen yöntem	Özgün yöntem	Geliştirilen yöntem
En kısa işlem süresi yöntemi	65	67	75%	73%
En uzun işlem süresi yöntemi	59	63	83%	78%
Sıralı konum ağırlığı yöntemi	61	64	80%	76%
Takip eden operasyonların azlığı yöntemi	62	66	79%	74%
Takip eden operasyonların fazlalığı yöntemi	58	63	84%	78%
Kilbridge-Wester yöntemi	58	63	84%	78%
Probabilistik hat dengeleme yöntemi	58	63	84%	78%
Sezgisel artırılmış verimlilik yöntemi	50	58	92%	84%
Önceden belirlenen üretim kapasitesine göre dengeleme yöntemi	55	-	89%	-
Darboğaz yöntemi	83	-	71%	-

En uzun işlem yöntemine göre atandığında 85 adet operasyon 59 adet istasyona atanarak hat dengelemesi yapılmıştır. Hat verimlilik formülü ile hesaplama yapıldığında %83 oranında hat verimliliği elde edilmiştir. Kısıtlı işçi koşullarında geliştirilen yeni metotla ise hat verimliliği %78 olarak hesaplanmıştır.

Sıralı konum ağırlığı yöntemine göre atandığında 85 adet operasyon 61 adet istasyona atanarak hat dengelemesi yapılmıştır. Hat verimlilik formülü ile hesaplama yapıldığında %83 oranında hat verimliliği elde edilmiştir. Kısıtlı işçi koşullarında geliştirilen yeni metotla ise hat verimliliği %76 olarak hesaplanmıştır.

Takip eden operasyonların azlığı yöntemine göre atandığında 85 adet operasyon 62 adet istasyona atanarak hat dengelemesi yapılmıştır. Hat verimlilik formülü ile hesaplama yapıldığında %79 oranında hat verimliliği elde edilmiştir. Kısıtlı işçi koşullarında geliştirilen yeni metotla ise hat verimliliği %74 olarak hesaplanmıştır.

Takip eden operasyonların fazlalığı yöntemine göre atandığında 85 adet operasyon 58 adet istasyona atanarak hat dengelemesi yapılmıştır. Hat verimlilik formülü ile hesaplama

yapıldığında %84 oranında hat verimliliği elde edilmiştir. Kısıtlı işçi koşullarında geliştirilen yeni metotla ise hat verimliliği %78 olarak hesaplanmıştır.

Kilbridge-Wester yöntemine göre atandığında 85 adet operasyon 58 adet istasyona atanarak hat dengelemesi yapılmıştır. Hat verimlilik formülü ile hesaplama yapıldığında %84 oranında hat verimliliği elde edilmiştir. Kısıtlı işçi koşullarında geliştirilen yeni metotla ise hat verimliliği %78 olarak hesaplanmıştır.

Probabilistik hat dengeleme yöntemine göre atandığında 85 adet operasyon 58 adet istasyona atanarak hat dengelemesi yapılmıştır. Hat verimlilik formülü ile hesaplama yapıldığında %84 oranında hat verimliliği elde edilmiştir. Kısıtlı işçi koşullarında geliştirilen yeni metotla ise hat verimliliği %78 olarak hesaplanmıştır.

Sezgisel artırımı verimlilik yöntemine göre atandığında 85 adet operasyon 50 adet istasyona atanarak hat dengelemesi yapılmıştır. Yöntemin hat verimlilik formülüne göre hesaplama yapıldığında %92 oranında hat verimliliği elde edilmiştir. Kısıtlı işçi koşullarında geliştirilen yeni metotla ise hat verimliliği %84 olarak hesaplanmıştır.

Önceden belirlenen üretim kapasitesine göre dengeleme yöntemine göre atandığında 85 adet operasyon 55 adet istasyona atanarak hat dengelemesi yapılmıştır. Yöntemin hat verimlilik formülüne göre hesaplama yapıldığında %89 oranında hat verimliliği elde edilmiştir. Bu yöntemin özgün hali kısıtlı işçi koşullarında olarak uygulanmaktadır.

Darboğaz yöntemine göre atandığında 85 adet operasyon 83 adet istasyona atanarak hat dengelemesi yapılmıştır. Yöntemin hat verimlilik formülüne göre hesaplama yapıldığında %71 oranında hat verimliliği elde edilmiştir. Bu yöntemin özgün hali kısıtlı işçi koşullarında olarak uygulanmaktadır.

#### **4.3. Denim Pantolon Araştırma Bulguları**

Denim pantolonda uygulanan hem özgün metot hem de geliştirilen metotların hat verimliliği sonuçları Çizelge 4.6'da görülmektedir.

En kısa işlem yöntemine göre atandığında 71 adet operasyon 47 adet istasyona atanarak hat dengelemesi yapılmıştır. Hat verimlilik formülü ile hesaplama yapıldığında %74 oranında hat verimliliği elde edilmiştir. Kısıtlı işçi koşullarında geliştirilen yeni metotla ise hat verimliliği %73 olarak hesaplanmıştır.

En uzun işlem yöntemine göre atandığında 71 adet operasyon 42 adet istasyona atanarak hat dengelemesi yapılmıştır. Hat verimlilik formülü ile hesaplama yapıldığında %83 oranında hat verimliliği elde edilmiştir. Kısıtlı işçi koşullarında geliştirilen yeni metotla ise hat verimliliği %71 olarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 4.6.** Bayan denim pantolon tüm yöntemlerin sonuçları

Yöntemin Adı	İstasyon sayısı		Hat verimliliği	
	Özgün yöntem	Geliştirilen yöntem	Özgün yöntem	Geliştirilen yöntem
En kısa işlem süresi yöntemi	47	49	74%	71%
En uzun işlem süresi yöntemi	42	49	83%	71%
Sıralı konum ağırlığı yöntemi	43	49	81%	71%
Takip eden operasyonların azlığı yöntemi	45	49	78%	71%
Takip eden operasyonların fazlalığı yöntemi	44	49	79%	71%
Kilbridge-Wester yöntemi	43	49	81%	71%
Probabilistik hat dengeleme yöntemi	43	51	81%	69%
Sezgisel artırımı verimlilik yöntemi	36	46	97%	76%
Önceden belirlenen üretim kapasitesine göre dengeleme yöntemi	41	-	85%	-
Darboğaz yöntemi	68	-	96%	-

Sıralı konum ağırlığı yöntemine göre atandığında 71 adet operasyon 43 adet istasyona atanarak hat dengelemesi yapılmıştır. Hat verimlilik formülü ile hesaplama yapıldığında %81 oranında hat verimliliği elde edilmiştir. Kısıtlı işçi koşullarında geliştirilen yeni metotla ise hat verimliliği %71 olarak hesaplanmıştır.

Takip eden operasyonların azlığı yöntemine göre atandığında 71 adet operasyon 45 adet istasyona atanarak hat dengelemesi yapılmıştır. Hat verimlilik formülü ile hesaplama yapıldığında %78 oranında hat verimliliği elde edilmiştir. Kısıtlı işçi koşullarında geliştirilen yeni metotla ise hat verimliliği %71 olarak hesaplanmıştır.

Takip eden operasyonların fazlalığı yöntemine göre atandığında 71 adet operasyon 44adet istasyona atanarak hat dengelemesi yapılmıştır. Hat verimlilik formülü ile hesaplama yapıldığında %79 oranında hat verimliliği elde edilmiştir. Kısıtlı işçi koşullarında geliştirilen yeni metotla ise hat verimliliği %71 olarak hesaplanmıştır.

Kilbridge-Wester yöntemine göre atandığında 71 adet operasyon 43 adet istasyona atanarak hat dengelemesi yapılmıştır. Hat verimlilik formülü ile hesaplama yapıldığında %81 oranında hat verimliliği elde edilmiştir. Kısıtlı işçi koşullarında geliştirilen yeni metotla ise hat verimliliği %71 olarak hesaplanmıştır.

Probabilistik hat dengeleme yöntemine göre atandığında 71 adet operasyon 43 adet istasyona atanarak hat dengelemesi yapılmıştır. Hat verimlilik formülü ile hesaplama yapıldığında %81 oranında hat verimliliği elde edilmiştir. Kısıtlı işçi koşullarında geliştirilen yeni metotla ise hat verimliliği %69 olarak hesaplanmıştır.

Sezgisel artırımı verimlilik yöntemine göre atandığında 71 adet operasyon 36 adet istasyona atanarak hat dengelemesi yapılmıştır. Yöntemin hat verimlilik formülüne göre



hesaplama yapıldığında %97 oranında hat verimliliği elde edilmiştir. Kısıtlı işçi koşullarında geliştirilen yeni metotla ise hat verimliliği %76 olarak hesaplanmıştır.

Önceden belirlenen üretim kapasitesine göre dengeleme yöntemine göre atandığında 71 adet operasyon 41 adet istasyona atanarak hat dengelemesi yapılmıştır. Yöntemin hat verimlilik formülüne göre hesaplama yapıldığında %85 oranında hat verimliliği elde edilmiştir. Bu yöntemin özgün hali kısıtlı işçi koşullarında olarak uygulanmaktadır.

Darboğaz yöntemine göre atandığında 71 adet operasyon 68 adet istasyona atanarak hat dengelemesi yapılmıştır. Yöntemin hat verimlilik formülüne göre hesaplama yapıldığında %96 oranında hat verimliliği elde edilmiştir. Bu yöntemin özgün hali kısıtlı işçi koşullarında olarak uygulanmaktadır.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında, endüstri mühendisliğinde geliştirilmiş olan 8 farklı sezgisel hat dengeleme algoritması ile konfeksiyon sektöründe sıklıkla kullanılan 2 sezgisel hat dengeleme algoritması incelenmiş ve konfeksiyon sektörü için en uygun olan yöntem belirlenmeye çalışılmıştır. İki farklı hazır giyim işletmesinden klasik erkek gömleği ve denim pantolon ürünlerinden toplamda 130 kadar operasyon için istatistiksel olarak %90 güven aralığında veriler toplanmış ve operasyonların standart zamanları hesaplanmıştır. İncelenen algoritmalar iki farklı üründe uygulanarak hat dengelemeleri yapılmış ve hat verimlilikleri hesaplanmıştır.

Hat dengeleme sonuçlarında bir işçiye birden fazla operasyon ve makine atandığı tespit edilmiştir. Ancak gerçekte konfeksiyon sektöründe çalışan işçiler her makineyi kullanabilme beceri, ustalık ve isteğe sahip olmamaktadır. Bu nedenle 8 sezgisel algoritmaya kısıtlı işçi koşullarında oluşturularak yeni algortimalar geliştirilmiştir. Geliştirilen kısıtlı işçi koşullarında algoritmalar uygulandığında bir işçiye atanan makine sayısı azalmış ve algoritmalar gerçekte uygulanabilir hale getirilmiştir.

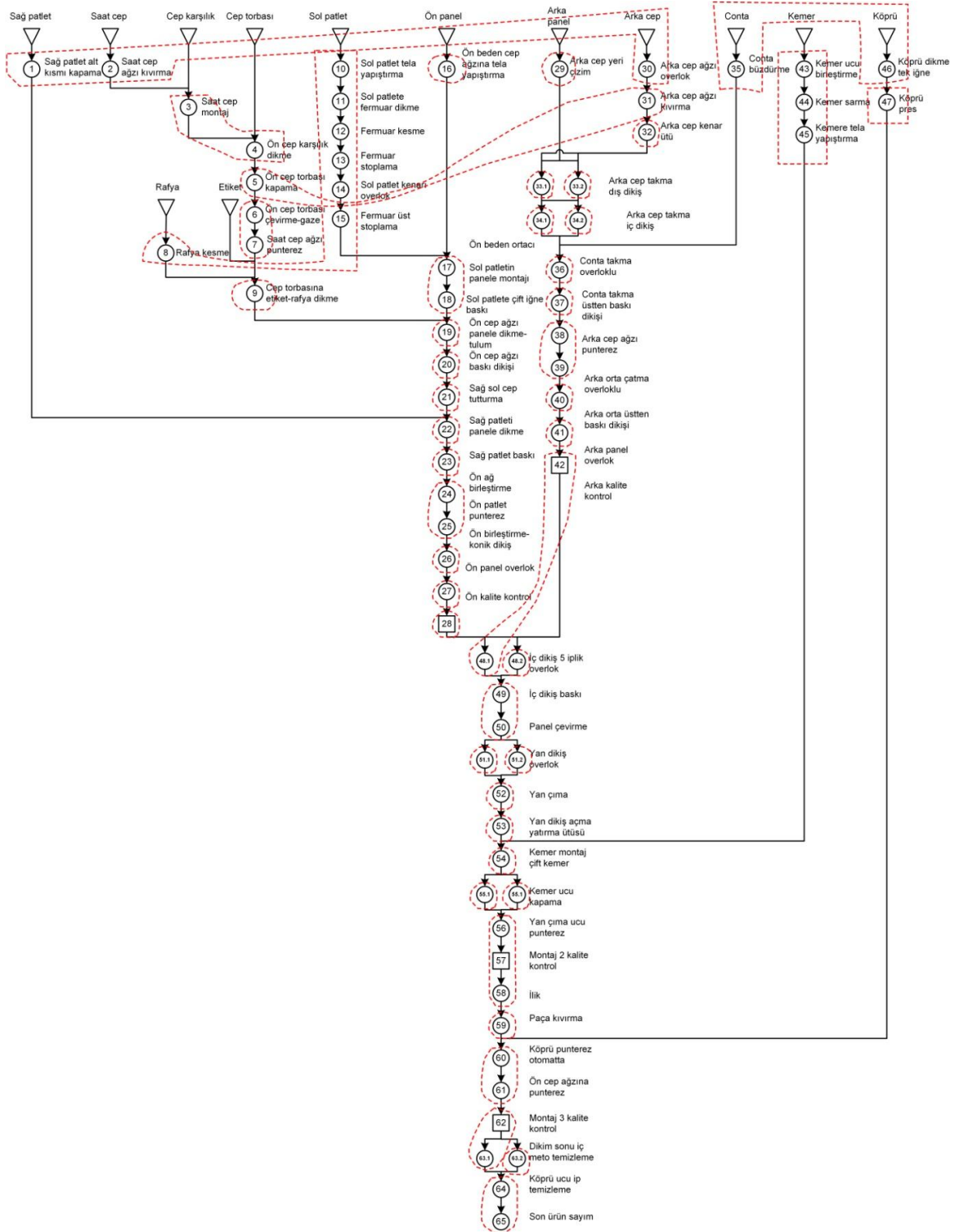
Orijinal hat dengeleme algoritmalarında, uygun olmayan makinelerin birleştirildiği istasyon sayısı Çizelge 5.1’de gösterilmektedir. Mevcut ürünlerde minimum 7, maksimum 30 adet istasyonda konfeksiyon işçilerinin aynı anda gerçekleştiremeyeceği nitelikte makine atamaları söz konusudur.

**Çizelge 5.1.** Orijinal yöntemlerde hatalı atamalar

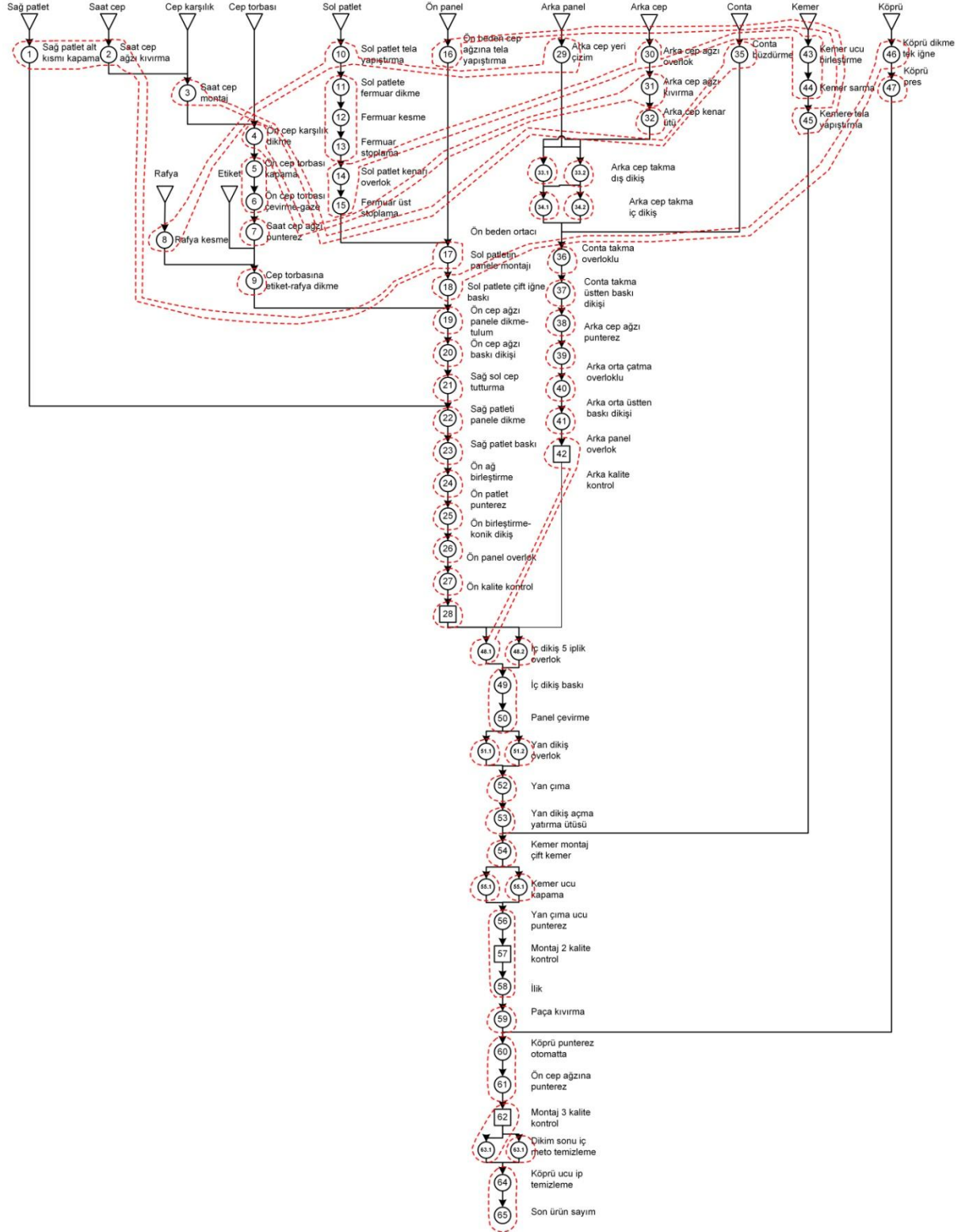
Yöntemin Adı	Gömlek karma makine gruplu atama sayısı	Denim karma makine gruplu atama sayısı
En kısa işlem süresi yöntemi	7	8
En uzun işlem süresi yöntemi	9	12
Sıralı konum ağırlığı yöntemi	8	10
Takip eden operasyonların azlığı yöntemi	9	9
Takip eden operasyonların fazlalığı yöntemi	14	9
Kilbridge-Wester yöntemi	7	11
Probabilistik hat dengeleme yöntemi	12	12
Sezgisel artırılmış verimlilik yöntemi	30	29

Şekil 5.1’de verilen denim pantolon için en kısa işlem süresi algoritmasının işlem akışı üzerindeki operasyon atamaları sırasında gerçekleştirilen birleştirmeler, Şekil 5.2’de verilen geliştirilen en kısa işlem süresi algoritması ile kıyaslandığında görülmektedir ki; geliştirilen algoritmalar için yapılan birleştirmeler daha dağınık bir yapı oluşturmaktadır. Bu durumum

temel nedeni operasyon birleştirmeleri sırasında kısıtlı işçi koşuluna bağlı olarak, daha geniş bir çerçevede operasyon aranmasından kaynaklanmaktadır. Bu arayışın sonucu olarak gerekli koşulları sağlanmadığı durumlarda, bazı istasyonlar tek bir operasyondan oluşmuş, bu durumda istasyon sayısı artmış, böylece verimlilikler düşmüştür.



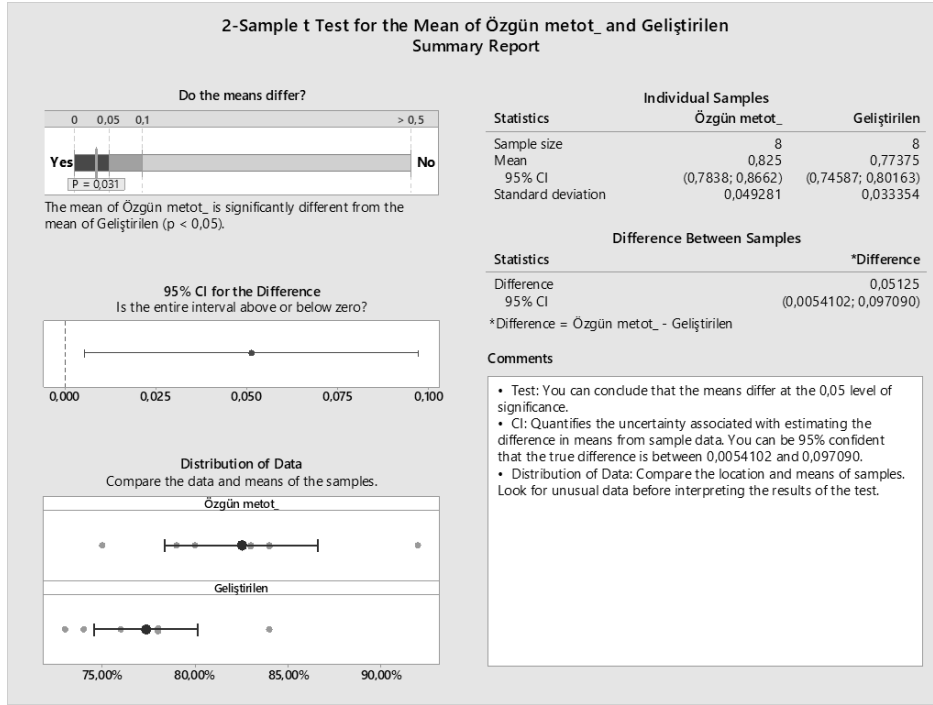
Şekil 5.1. Denim pantolon en kısa işlem süresi yöntemi iş akışı üzerinde istasyonların durumu



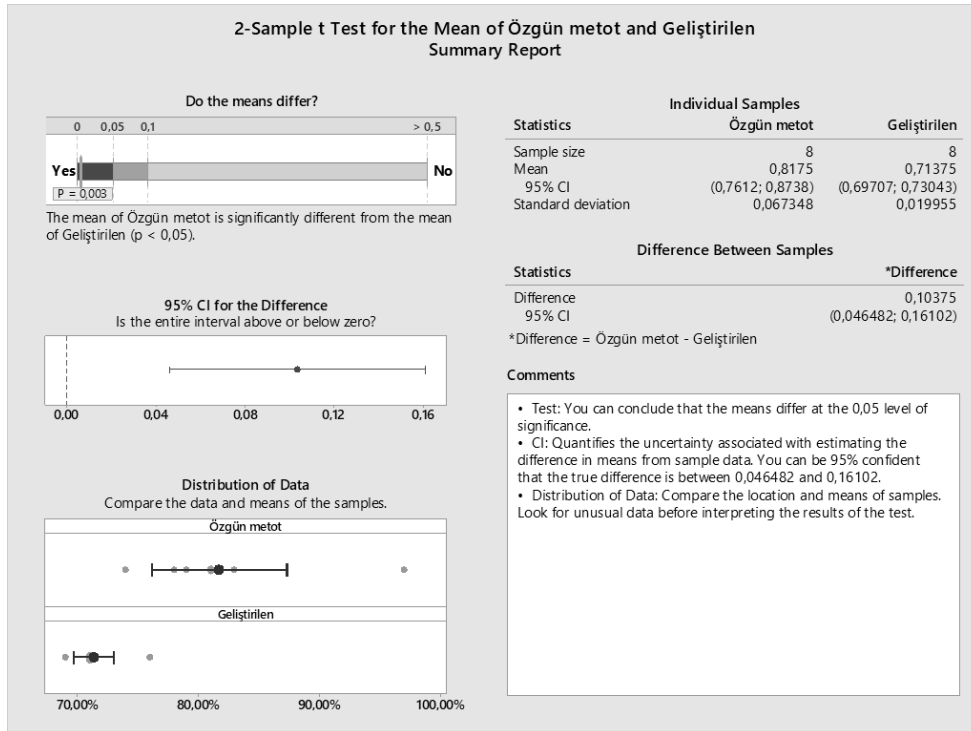
Şekil 5.2. Denim pantolon en kısa işlem süresi geliştirilen yöntem iş akışı üzerinde istasyonların durumu

8 farklı algoritma için gömlek üretimi kullanılan orijinal algoritmalarla, geliştirilen algoritmalar arasında bağımsız t-testi yapıldığında görülmüştür ki; özgün yöntemlerle

geliştirilen yöntemler arasında anlamlı farklılık vardır ( $p=0,031$ ). Verimlik değerleri arasında ortalama %5,12 civarında fark olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Gömlek için orijinal algoritmalarla, geliştirilen algoritmaların t-testi sonuçları



Şekil 5.4. Denim pantolon için orijinal algoritmalarla, geliştirilen algoritmaların t-testi sonuçları

Bayan denim pantolonu üretimi için kullanılan orijinal algoritmalarla, geliştirilen algoritmalar arasında bağımsız t-testi yapıldığında görülmüştür ki; özgün yöntemlerle geliştirilen yöntemler arasında anlamlı farklılık vardır ( $p=0,003$ ). Verimlik değerleri arasında ortalama %10,37 civarında fark olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.4).

Gömlek üretimiyle, denim pantolon üretimi (tesadüfi olarak) aynı sayıda operasyona sahip olmalarına rağmen, geliştirilen algoritmalar gömlek üretiminde, denim pantolon üretimine göre daha yüksek verimlilik sağlamıştır. Geliştirilen algoritmaların orijinallerinden daha düşük verimlilik sağlaması, mevcut probleme yeni kısıtlar eklendiği için zaten beklenen bir sonuçtur. Gömlek ile denim pantolon arasındaki bu farkın temel nedeni ise, gömlek üretim sürecinin paralel operasyon sayısının daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Paralel operasyon sayısı arttıkça, probleme eklenen yeni kısıtın verimliliğe etkisinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Her ne kadar sonuçlar, orijinal algoritmalarından düşük çıksa da orijinal algoritmaların konfeksiyon sektörüne cevap verebilen bir niteliği olmadığına dikkat edilmelidir. Çünkü konfeksiyon sektörü için; sadece istasyon süresini daha iyi doldurması için (örneğin bir düz dikiş çalışanın aynı anda ütü operasyonunu gerçekleştirmesi gibi) bir çalışanın kendi yetenekleri dışında bir operasyonu gerçekleştirmesi beklenemez. Bu nedenle sektörde gerçekleştirilecek uygulamalarda, çalışma kapsamında oluşturulan algoritmalar arasından en yüksek verimliliğe sahip olanının seçilerek kullanılması hedeflenmelidir. Geliştirilen algoritmaların iki farklı ürüne uygulanması sonucunda, hat verimliliği açısından sezgisel artırımı verimlilik yönteminin mevcut ürünler için en iyi sonuç verdiği saptanmıştır.

Gelecekte bu konu çalışma yapacak araştırmacılar şunlar önerilmektedir;

- Bu çalışmada ele alınmayan farklı algoritmalarında incelemeye eklenmelidir,
- Algoritmaların sektör tarafından kolayca kullanılacak bir yazılımla desteklenmelidir,
- Söz konusu yazılımın, gerekli veriler girildikten sonra, en uygun algoritmayı seçerek öneride bulunmalıdır.
- Mümkünse geliştirilecek yazılım, işletmenin kurumsal kaynak yazılımına entegre edilmelidir.

## 6. KAYNAKLAR

- Akın N G (2015). Kanepe Montaj Hattının Dengelenmesi ve Benzetim Yöntemi İle Sınanması. Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 5(1) : 95-120.
- Alyunay H, Özmutlu H C, Özmutlu S (2017). Paralel Görev Atamalı Montaj Hattı Dengeleme Problemi için Yeni Bir Matematiksel Model Önerisi. C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 18(1):15-33.
- Anonim (2019). 2018 Ocak-Haziran Hazırgiyim ve Konfeksiyon Sektörü İhracat Performans değerlendirmesi. <https://www.ihkib.org.tr/tr>
- Anonim (2004). Ulusal Bilim ve Teknoloji Politikaları 2003-2023 Strateji Belgesi Versiyon 19. [www.tubitak.gov.tr](http://www.tubitak.gov.tr)
- Anonim (2014). T.C. Kalkınma Bakanlığı Onuncu Kalkınma Planı 2014-2018 Tekstil Deri Hazırgiyim Çalışma Grubu Raporu. [www.sbb.gov.tr](http://www.sbb.gov.tr)
- Bakır Z S (2015). Türkiye Hazır Giyim Sektörünün 2005-2014 Dönemi İçin Rekabet Gücünün Ölçülmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Ticaret Üniversitesi Dış Ticaret Enstitüsü. İstanbul: 29-64.
- Baybars İ (1986). A Survey of Exact Algorithms for the Simple Assembly Line Balancing Problem. Management Science, 32(8): 909-932.
- Baykasoglu A, Ozbakır L, Görkemli L, Görkemli B (2012). Multi-Colony Ant Algorithm for Paralel Assembly Line Balancing with Fuzzy Parameters. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 23: 283–295.
- Becker C, Scholl A (2006). A Survey on Problems and Methods in Generalized Assembly Line Balancing. European Journal of Operational Research, 168: 694–715
- Bilget S (2015). Konfeksiyonda Simülasyon Tekniğiyle Yalın Üretim Sistemlerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi. Tekirdağ: 6-7.
- Bostan A, Kelleci S Ü, Ateş İ (2010). Türkiye Tekstil Ve Hazır Giyim Sektörünün Rekabet Gücü: Avrupa Birliği Ülkeleri ile Bir Karşılaştırma. Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi (Akademik Fener), 43-58.
- Boysen N, Fliedner M, Scholl A (2007). A Classification of Assembly Line Balancing Problems. European Journal of Operation Research, 183:674-693.
- Boysen N, Fliedner M, Scholl A (2008). Assembly Line Balancing: Which Model to Use When?. Int. J. Production Economics, 111:509-528.
- Chiang W, Urban T L (2006). The Stochastic U-Line Balancing Problem: A Heuristic Procedure. European Journal of Operational Research, 175:1767–1781
- Dilber İ (2004). Tekstil ve Konfeksiyon Sanayinin Rekabet Gücü. Yönetim ve Ekonomi, 11(2):85-97.
- Dileep R S (2008). Network-Based Scheduling. Production Planning and Industrial Scheduling: Examples, Case Studies and Applications, Editörler, CRC Press, Boca Raton USA, 296:313.

- Elsayed E A, Boucher T O (1985). Analysis and Control of Production Systems. Prentice Hall International Inc, 320p, New Jersey, USA.
- Ergün M (1987). Hat Dengeleme Modelleri. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara: 5-76.
- Erkan B (2013). Türkiye'nin Tekstil ve Hazır Giyim Sektörü İhracatında Uluslararası Rekabet Gücünün Belirlenmesi. Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 1: 93-110.
- Eryürük SH(2005). Bir Konfeksiyon İşletmesinde Montaj Hattı Dengeleme. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul: 14-23
- Eryürük SH, Kalaoğlu F, Baksak M(2011). Konfeksiyon Üretiminde İstatistiksel Yöntemle Montaj Hattı Dengeleme. Tekstil ve Konfeksiyon, 1: 65-71.
- Eryürük SH, Kalaoğlu F, Baksak M(2014). Etek Üretimi Yapan Bir Konfeksiyon İşletmesinde Montaj Hattı Dengeleme Çalışması. Tekstil ve Mühendis, 21(96): 20-26.
- Gaither N, Frazier G (2002). Operations Management. Southern Western, a Division of Thomson Learning, 811p, Australia.
- Ghosh S, Gagnon R J. A (1989). Comprehensive Literature Review and Analysis of The Design. Balancing And Scheduling of Assembly Systems. Int J Prod Res,27: 637-670.
- Günay K, Çetin T, Baykoç Ö F (2004). Montaj Hattı Dengelemede Geleneksel Ve U Tipi Hatların Karşılaştırılması Ve Bir Uygulama Çalışması. Teknoloji, 7(3): 351-359
- Güner M, Yücel Ö, Ünal C (2012). Applicability of Different Line Balancing Methods In the Production of Apparel. Tekstil ve Konfeksiyon, 23(1): 77-84.
- Güner M, Yücel Ö(2014). Konfeksiyon İşletmelerinde Verimlilik Geliştirici Uygulamalar. Tekstil ve Mühendis, 21(95): 30-37.
- Güngör F, Akkaya M(2012). Seri Üretim Hattında, Kapasite Dengeleme ve Verimlilik Artışının Birim Maliyete Etkisi ve Bir Uygulama. 11. Ulusal İşletmecilik Kongresi, Konya Selçuk Üniversitesi, Konya, 10-11 Mayıs 2012 pp:999-1004
- Güngör M, Ağaç S (2014). Resourced-Constrained Mixed Model Assembly Line Balancing in an Apparel Company. Tekstil ve Konfeksiyon, 24(4): 405-412.
- Günişik T (2000). Üretim Hatlarının Teknik Açısından Dengelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul: 2-82.
- Gürsoy A (2011). An Integer Model and a Heuristic Algorithm for Flexible Line Balancing Problem. Tekstil ve Konfeksiyon, 1: 58-63.
- Chen JC, Chen CC, Su LH, Wu HB, Sun CJ (2012). Assembly Line Balancing in Garment Industry. Expert Systems with Applications, 39: 10073-10081.
- Çoruh E (2017). Hazır Giyim Endüstrisi için Üretim Sistem Yaklaşımları. Tekstil ve Mühendis, 80 :11-19
- Heizer J, Render B (2008). Operations Management, Pearson International Edition, Pearson Education 9th edition, USA:366-369.
- Jaganathan VP (2014). Line Balancing Using Largest Candidate Rule Algorithm in a Garment Industry: A Case Study. International Journal of Lean Thinking, 5: 25-35.
- Jaturanonda C, Nanthavanij S, Das S K (2013). International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 19(4): 531-541.



- Kahraman F, İspir A (2004). Montaj Hattı Dengeleme Algoritmalarının Karşılaştırılması. Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 19(1):195-203.
- Kanawaty G (2004). İş Etüdü Uluslararası Çalışma Örgütü. Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları No:29.Ankara
- Karabay G (2014). A Comparative Study on Designing of a Clothing Assembly Line. Tekstil ve Konfeksiyon, 24(1): 124-133.
- Kayar M, Akyalçın Ö C (2014). Applying Different Heuristic Assembly Line Balancing Methods in the Apparel Industry and Their Comparison. Fibres&Textiles in Eastern Europe, 22, 6(108): 8-19.
- Keskintürk T, Küçük B (2006). Karışık Modelli Montaj Hatlarının Genetik Algoritma Kullanılarak Dengelenmesi. Yönetim, 17(53): 52-63.
- Kilbridge M D, Wester L (1962). A Review of Analytical Systems of Line Balancing. Operations Research, 10(5): 626-638.
- Kumar N, Mahto D (2013). Assembly Line Balancing: A Review of Developments and Trends in Approach to Industrial Application. Global Journal of Research in engineering Industrial Engineering, 13(2): 28-50.
- Kurşun S (2007). Tekstil Endüstrisinde Benzetim Tekniği ile Üretim Hattı Modellemesi Ve Uygun İş Akış Stratejisinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul: 17-19.
- Kurt M, Dağdeviren M (2003). İş Etüdü. Gazi Kitapevi, 246, Ankara.
- Küçükkoç, İ (2011). Karışık Modelli Montaj Hattı Dengeleme Problemleri ve Genetik Algoritmalar ile Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir:3-36
- Mete S, Ağpak K (2013). Çok Amaçlı Genelleştirilmiş Kaynak Kısıtlı Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme Problemi ve Hesaplama Analizi. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi 28(3): 567-576.
- Onan A (2013). Metasezgisel Yöntemler ve Uygulama Alanları. Çukurova Üniversitesi İİBF Dergisi, 17,2: 113-128.
- Orbak A Y, Özalp T, Korkmaz P, Yarkın N, Aktaş N, Dinçer A (2009). Karışık Modelli Bir Montaj Hattında Hat Dengeleme Çalışmaları. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 29. Ulusal Kongresi, Ankara.
- Öngüt Ç E (2007). Türk Tekstil ve Hazır Giyim Sanayisinin Değişen Dünya Rekabet Şartlarına Uyumu. Devlet Planlama Teşkilatı Uzmanlık Tezleri Yayın No: 2703, İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Ankara:124-131.
- Özgörmüş E (2007). Ergonomik Koşullar Altında Montaj Hattı Dengeleme. Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli:19-22.
- Pinto P, Dannenbring DG, Khumawala B M (1975). A Branch and Bond Algorithm for Assembly Line Balancing with Paralleling. Int. J. Prod. Res 13(2): 183-196.
- Rahman MM, Nur F, Talapatra S (2014). An Integrated Framework of Applying Line Balancing in Apparel Manufacturing Organization: A Case Study. Journal of Mechanical Engineering, 44(2): 117-123.
- Sarin S C, Erel E, Dar-El E M (1999). A Methodology For Solving Single-Model, Stochastic Assembly Line Balancing Problem. Omega, 27: 525-535.

- Scholl A (1999). *Balancing and Sequencing of Assembly Lines*, Second Edition. Physica-Verlag Heidelberg A Springer-Verlag Company, 318 p, Germany.
- Scholl A, Becker C (2006). State of the Art Exact and Heuristic Solution Procedures for Simple Assembly Line Balancing. *European Journal of Operational Research*, 168(2006):666-693
- Sivasankaran P, Shahabudeen P (2014). Literature Review of Assembly Line Balancing Problem. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 73: 1665-1694.
- Sönmez, Aİ (1991). Assembly Line Balancing (Balancing Production Lines. *Production Plant Design*, Gaziantep Üniversitesi Basımevi, Gaziantep, 135-152.
- Starr M K (1900). *Production Planning for the Flow Shop*. Managing Production and Operations, Prentice Hall, New Jersey, 492-534.
- Supçiller AA (2010). A Novel Line Balancing Problem: Complex Constrained Assembly Line Balancing. A Thesis for a Degree of Doctor of Philosophy in Industrial Engineering, Dokuz Eylül University Graduate School Of Natural and Applied Sciences, İzmir:15-36.
- Wild R (2002). *The Design and Scheduling of Flow Processing Systems*. Operations Management, Thomson Learning EMEA, New York, 498-529.
- Takçı E (2013). Bir İmalat İşletmesinde Simülasyon Yardımıyla Süreç İyileştirme Uygulaması: Kayseri Gürkar Tekstil Örneği. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Nevşehir: 33-34.
- Ünal C (2013). A New Line Balancing Algorithm for Manufacturing Cell Transformation in Apparel Industry. *Industria Textila*, 64(3): 155-161.
- Ünal C, Tunalı S, Güner M (2009). Evaluation of Alternative Line Configurations in Apparel Industry using Simulation. *Textile Research Journal*, 79(10): 908-916.
- Ünal C (2018). Takım Elbise Ceket Üretiminde İş Akışı ve Standart Birim Sürenin Belirlenmesi. ISAS2018-Winter - 2nd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies, 3: 487-490.

## ÖZGEÇMİŞ

11.02.1980 tarihinde Tekirdağ'da doğan Zeycan Aydan DEMİRBAŞ, ilk ve orta öğrenimini Tekirdağ'da tamamladı. Lisan eğitiminin Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği alanında 2003 yılında, işletme alanındaki yüksek lisans eğitimini ise Dokuz Eylül Üniversitesi İşletme Anabilim Dalında 2010 yılında tamamlamıştır. 2004-2015 yılları arasında kendi işletmesi dâhil olmak üzere Hugo Boss ve Zehra Tekstil firmalarında Üretim Mühendisi olarak çalışmıştır. Tekstil Mühendisliği alanında yaptığı yüksek lisans eğitimini Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Tekstil Mühendisliği anabilim dalında sürdürmektedir. Evli ve iki çocuk annesidir. İyi derecede İngilizce ve orta seviyede Almanca bilmektedir.