

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BİR TEKSTİL İŞLETMESİNDE SİMÜLASYON-
OPTİMİZASYON YAKLAŞIMI İLE HAT DENGELEME
ÇALIŞMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜLŞAH ÇALIŞKAN

DENİZLİ, 2020

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**BİR TEKSTİL İŞLETMESİNDE SİMÜLASYON-
OPTİMİZASYON YAKLAŞIMI İLE HAT DENGELEME
ÇALIŞMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜLŞAH ÇALIŞKAN

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2020

BEYAN

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

Gülşah ÇALIşKAN



ÖZET

**BİR TEKSTİL İŞLETMESİNDE SİMÜLASYON-OPTİMİZASYON
YAKLAŞIMI İLE HAT Dengeleme ÇALIŞMASI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
GÜLŞAH ÇALIŞKAN
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI:DR. ÖĞR. ÜYESİ LEYLA DEMİR)
DENİZLİ, AĞUSTOS - 2020**

Emek yoğun çalışan konfeksiyon işletmelerinde kaynaklar ve çalışanlar etkin bir şekilde kullanılamamaktadır. Bu durum hat üzerinde dengesiz iş akışlarına ve darboğaz problemlerine yol açmaktadır. Bu problemler üretimin verimliliğini ve kalitesini düşürdüğü için, maliyetlerin artmasına, terminlerin gecikmesine ve bu da müşteri kayıplarına sebep olmaktadır. Bu çalışma Denizli’de faaliyet gösteren bir konfeksiyon işletmesinde gerçekleştirilmiştir. Üretim hattındaki gözlemler sonucu, işletme içerisinde kaynakların etkin kullanılamaması, verimsiz çalışan işgücü, üretim miktarının düşük olması, üretim hatlarında darboğazların oluşması gibi durumlar hat dengeleme problemini ortaya çıkarmıştır. Bu olumsuzlukları gidermek ve işletmenin kapasitesini artırmak için işletmedeki mevcut durum simülasyonla modellenmiş ve analiz edilmiştir. Daha sonra 3 farklı senaryo altında sistem davranışı gözlenmiş ve bu senaryolardan elde edilen sonuçlar sıralı konumsal ağırlık yöntemi ile yapılan hat dengeleme sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda sıralı konumsal ağırlık yönteminin hem üretim kapasitesi hem de maliyet açısından en iyi sonucu verdiği görülmüştür. Yapılan iyileştirme sonucunda işgücü kapasite kullanım oranı %21 artmış, günlük üretim miktarı 863 adetten 1052 adete yükselmiş ve işletmenin kar oranı ise %23 artmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: Hat Dengeleme Problemi, Simülasyon, Optimizasyon, Kapasite Arttırımı.

ABSTRACT

LINE BALANCING STUDY BY SIMULATION-OPTIMIZATION APPROACH IN A TEXTILE COMPANY

MSC THESIS

GÜLŞAH ÇALIŞKAN

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

INDUSTRIAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. LEYLA DEMİR)

DENİZLİ, AUGUST 2020

Resources and labors cannot be used effectively in ready-made garment companies. This situation leads to unbalanced work flows and bottleneck problems on the line. Since these problems reduce the efficiency and quality of the production, it leads to increased costs, delay of deadlines and this leads to customer losses. This study was carried out in a garment company operating in Denizli. As a result of the observations in production line, situations such as inefficient use of resources within the enterprise, inefficient workforce, low production amount, and bottlenecks in the production lines raised the line balancing problem. The current situation in the company has been modeled and analyzed by simulation in order to eliminate these problems and increase the capacity of the company. Then, system behavior was observed under 3 different scenarios and the results obtained from these scenarios were compared to the line balancing results used the sequential positional weight method. It was observed that the sequential positional weight method yielded the best results in terms of both production capacity and costs. As a result, the daily production rate has been increased from 863 to 1052, the labor usage rate has been increased by 21%, and the profit rate of the company has been increased by 23% with the improvement in the line balancing.

KEYWORDS: Line Balancing Problem, Simulation, Optimization, Capacity improvement.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL VE KISALTMALAR LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. MONTAJ HATLARI.....	4
2.1 Montaj Hattı Dengeleme Problemi	5
2.1.1 Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinin Sınıflandırılması.....	5
2.1.1.1 Amaca Göre Sınıflandırma	6
2.1.1.2 Hat Yerleşimine Göre Sınıflandırma	6
2.1.1.3 Ürün Çeşidine Göre Sınıflandırma	7
2.1.1.4 Görev Sürelerinin Durumuna Göre Sınıflandırma.....	8
2.2 Montaj Hattı Dengeleme Probleminde Kullanılan Kavramlar	9
2.3 Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinin Çözümünde Kullanılan Yöntemler.....	13
2.3.1 Kesin Yöntemler	13
2.3.1.1 Dinamik Programlama	13
2.3.1.2 Dal/Sınır Algoritması	15
2.3.2 Sezgisel Yöntemler	16
2.3.2.1 En Büyük Aday Kuralı.....	16
2.3.2.2 Kilbridge-Wester Yöntemi.....	18
2.3.2.3 Sıralı Konumsal Ağırlık Yöntemi	19
2.3.3 Meta-Sezgisel Yöntemler	21
2.3.3.1 Genetik Algoritma.....	21
2.3.3.2 Tavlama Benzetimi Algoritması	23
2.3.3.3 Tabu Arama Algoritması.....	25
2.3.3.4 Karınca Kolonisi Algoritması	27
3. SİMÜLASYON-OPTİMİZASYON METODOLOJİSİ	30
3.1 Simülasyon Yöntemi.....	30
3.2 Simülasyonun Uygulama Aşamaları	30
3.3 Simülasyon Yazılımları	33
3.4 Simülasyon-Optimizasyon	34
3.5 Simülasyon-Optimizasyon Yöntemleri.....	35
4. LİTERATÜR TARAMASI	40
5. UYGULAMA	44
5.1 Çalışmanın Amacı	44
5.2 İşletmenin Tanıtımı	44
5.3 Mevcut Süreç Akışı	46
5.4 Mevcut Yerleşim Planı	48

5.5	Mevcut Sürecin Simülasyon Modeli	50
5.6	OptQuest ile İşgücü Ataması.....	61
5.7	Hat Dengeleme	74
5.8	Mevcut Sistem, OptQuest ve Hat Dengeleme Sonuçlarının Karşılaştırılması	94
5.9	Maliyet Analizi.....	95
6.	SONUÇLAR.....	97
7.	KAYNAKLAR.....	99
8.	ÖZGEÇMİŞ	108

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Hat yerleşimi a) Düz hat, b) Dairesel hat, c) U şeklinde hat, d) S şeklinde hat.....	7
Şekil 2.2: Ürün çeşidine göre hatlar a) Tek modellenli hat, b) Çok modellenli hat, c) Karışık modellenli hat.....	7
Şekil 2.3: Öncelik diyagramı	11
Şekil 2.4: Genetik algoritma akış şeması (Çınar 2019).....	22
Şekil 2.5: Tavlama benzetimi akış şeması (Subaşı 2015).....	24
Şekil 2.6: Tabu arama algoritması (Çayıroğlu2017)	26
Şekil 3.1: Simülasyon uygulama aşamaları (Banks ve diğ. 2004)	32
Şekil 3.2: Simülasyon optimizasyon modeli. (Carson ve Maria 1997).....	34
Şekil 3.3: Simülasyon optimizasyon metotları (Carson ve Maria 1997).....	35
Şekil 5.1: İş akış şeması.....	45
Şekil 5.2: Chino pantolon işlem süreci.....	47
Şekil 5.3: Fabrika yerleşim planı	49
Şekil 5.4: Ön beden parçalarının dikim operasyonları	53
Şekil 5.5: Arka beden parçalarının dikim operasyonları	54
Şekil 5.6: Ön ve arka beden için gerekli parçaların dikimi	54
Şekil 5.7: Ön ve arka parçaların montajı	54
Şekil 5.8: İp Temizleme.....	54
Şekil 5.9: Ütü Bölümü	55
Şekil 5.10: Kalite Bölümü	55
Şekil 5.11: Paket Bölümü	55
Şekil 5.12: Genel simülasyon modeli	56
Şekil 5.13: Replikasyon sayılarına göre çıktı miktarı.....	57
Şekil 5.14: t-testi sonuçları	58
Şekil 5.15: İşgücü kapasite kullanım oranları	61
Şekil 5.16: OptQuest çözüm grafiği	65
Şekil 5.17: Chino pantolon öncelik diyagramı	77
Şekil 5.18: Dengelenmiş üretim hattı simülasyon modeli.....	82
Şekil 5.19: İstasyon 1 simülasyon modeli	83
Şekil 5.20: İstasyon 2 simülasyon modeli	83
Şekil 5.21: İstasyon 3 simülasyon modeli	84
Şekil 5.22: İstasyon 4 simülasyon modeli	84
Şekil 5.23: İstasyon 5 simülasyon modeli	85
Şekil 5.24: İstasyon 6 simülasyon modeli	85
Şekil 5.25: İstasyon 7 simülasyon modeli	85
Şekil 5.26: İstasyon 8 simülasyon modeli	86
Şekil 5.27: İstasyon 9 simülasyon modeli	86
Şekil 5.28: İstasyon 10 simülasyon modeli	87
Şekil 5.29: İstasyon 11-12 simülasyon modeli	87
Şekil 5.30: İstasyon 13-14 simülasyon modeli	88

Şekil 5.31: İstasyon 15 simülasyon modeli	88
Şekil 5.32: İstasyon 16 simülasyon modeli	89
Şekil 5.33: İstasyon 17 simülasyon modeli	89
Şekil 5.34: İstasyon 18 simülasyon modeli	89
Şekil 5.35: İstasyon 19 simülasyon modeli	90
Şekil 5.36: İstasyon 20 simülasyon modeli	90
Şekil 5.37: İstasyon 21 simülasyon modeli	90
Şekil 5.38: İstasyon 22 simülasyon modeli	91
Şekil 5.39: İstasyon 23 simülasyon modeli	91
Şekil 5.40: İstasyon 24-25 simülasyon modeli	92
Şekil 5.41: İstasyon 26 simülasyon modeli	92
Şekil 5.42: İstasyon 27 simülasyon modeli	92

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Öncelik matrisi.....	11
Tablo 3.1: Simülasyon yazılımları, optimizasyon paketleri ve metotları (Amaran ve diğ. 2014)	37
Tablo 5.1: Operasyonlara ait istatistiksel dağılımlar.....	51
Tablo 5.2: Bölümlerdeki makine ve çalışan sayısı.....	53
Tablo 5.3: 12 günlük gerçek veri ve Arena çıktısı	57
Tablo 5.4: Simülasyon çıktıları	59
Tablo 5.5: Değişken veya kaynak sayısına göre minimum simülasyon sayısı (User Guide OptQuest for Arena, 2010)	62
Tablo 5.6: 1.Senaryo sonuçları.....	64
Tablo 5.7: Mevcut durum ve OptQuest ile elde edilen işgücü kapasite kullanım oranlarının karşılaştırılması.....	65
Tablo 5.8: 1. Senaryo Optquest ile elde edilen en iyi atama sonuçları	67
Tablo 5.9: 2. Senaryo Optquest ile elde edilen en iyi atama sonuçları	69
Tablo 5.10: 3. Senaryo Optquest ile elde edilen en iyi atama sonuçları	71
Tablo 5.11: Mevcut durum ve önerilen senaryoların karşılaştırılması.....	73
Tablo 5.12: Chino pantolon üretim verileri.....	76
Tablo 5.13: Chino pantolon konum ağırlıkları.....	78
Tablo 5.14: İş elemanlarının azalan konum ağırlıkları	79
Tablo 5.15: Hat dengeleme sonuçları.....	80
Tablo 5.16: Hat dengeleme sonucu işgücü kapasite kullanım oranı	93
Tablo 5.17: Mevcut durum, en iyi OptQuest senaryosu ve dengelenmiş durumun karşılaştırılması.....	94
Tablo 5.18: Makine maliyetleri	95
Tablo 5.19: Aylık kâr miktarı.....	96

SEMBOL VE KISALTMALAR LİSTESİ

<i>C</i>	: Çevrim Zamanı (Cycle Time)
<i>K</i>	: İstasyon Sayısı
<i>LE</i>	: Hat Etkinliği (Line Efficiency)
<i>T_{wc}</i>	: Toplam İş İçeriği (Total Work Content)
<i>N</i>	: Toplam İş Elemanı Sayısı
<i>t_i</i>	: <i>i</i> . İş Elemanı İşlem Süresi
<i>T</i>	: Toplam Kullanılabilir Üretim Süresi
<i>PR</i>	: Hedeflenen Günlük Üretim Miktarı (Production Rate)
<i>n_{min}</i>	: Kurulabilecek En Az İstasyon Sayısı
<i>C*</i>	: Ortalama İş İstasyonu Süresi
<i>w</i>	: Dengeleme Sonucunda Elde Edilen İş İstasyonu Sayısı
<i>a_{ij}</i>	: Öncelik Matrisi Boyutu
<i>E</i>	: Esneklik Oranı
<i>Y</i>	: Öncelik Matrisinde 0 Değere Sahip Göz Sayısı
<i>E_b</i>	: Denge Kaybı (Balance Delay)
<i>Dİ</i>	: Düzgünlük İndeksi
<i>T_{max}</i>	: İş İstasyonu Sürelerinin En Büyüğü
<i>T_i</i>	: <i>i</i> . İş İstasyonunun Süresi
<i>KE</i>	: Kurumsal Etkinlik
<i>DP</i>	: Dinamik Programlama (Dynamic Programming)
<i>ALB</i>	: Montaj Hattı Dengeleme (Assembly Line Balancing)
<i>BBR</i>	: Dal-Sınır-Hatırla (Branch-Bound-Remember)
<i>LCR</i>	: En Büyük Aday Kuralı (Largest Candidate Rule)
<i>KWM</i>	: Kilbridge ve Wester Yöntemi (Kilbridge ve Wester's Method)
<i>RPW</i>	: Sıralı Konumsal Ağırlık (Ranked Positional Weight)
<i>GA</i>	: Genetik Algoritma (Genetic Algorithm)
<i>SA</i>	: Tavlama Benzetimi (Simulated Annealing)
<i>TS</i>	: Tabu Arama (Tabu Search)
<i>ACO</i>	: Karınca Koloni Algoritması (Ant Colony Algorithm)
<i>DOE</i>	: Deneysel Tasarım (Design Of Experiment)
<i>RSM</i>	: Yanıt Yüzeyi Yöntemi (Response Surface Methodology)
<i>DES</i>	: Ayrık Olay Simülasyonu (Discrete Event Simulation)
<i>PAN</i>	: Süreç Çözümleyicisi (Process Analyzer)
<i>SS</i>	: Serpilme Arama (Scatter Search)
<i>ANN</i>	: Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks)
<i>SUALBSP</i>	: Hazırlık Zamanlı Montaj Hattı Dengeleme ve Çizelgeleme Problemi (Assembly Line Balancing and Scheduling Problem with Set-Up)
<i>UALBP1</i>	: Tip-1 U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemi (Type 1 U-Shaped Assembly Line Balancing Problem)
<i>STUALB</i>	: Stokastik İki Taraflı U Tipi Montaj Hattı Dengeleme (Stochastic Two-Sided U-Type Assembly Line Balancing)
<i>UALB</i>	: U Tipi Montaj Hattı Dengeleme (U-Shape Assembly Line Balancing)
<i>MMPAL</i>	: Karışık Model Paralel Montaj Hattı (Mixed Model Parallel Assembly Line)

- TMMPALB:** Tabu Karışık Model Paralel Montaj Hattı Dengeleme (Tabu Mixed Model Parallel Assembly Line Balancing)
- DLBP** : Demontaj Hattı Dengeleme Problemi (Disassembly Line Balancing Problem)
- SALBP** : Basit Montaj Hattı Dengeleme Problemi (Simple Assembly Line Balancing Problem)
- ACO-BS** : Karınca Koloni Algoritması-Işın Arama (Ant Colony Algorithm In Combination With Beam Search)
- TUALBP** : İki Taraflı U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemi (Two-Sided U-Type Assembly Line Balancing Problem)
- TUALBPS** : İki Taraflı U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemi Serisi (Two-Sided U-Type Assembly Line Balancing Problem Series)
- OCBA** : Optimum Hesaplama Bütçesi Tahsisi (Optimum Calculation Budget Allocation)
- ALNS** : Uyarlanabilir Büyük Komşu Arama (Adaptive Large Neighborhood Search)

ÖNSÖZ

Hazırlamış olduğum tez çalışmamda, bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gösteren, destek olan değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Leyla DEMİR'e,

Tez sürecimde yardımını esirgemeyen ve fabrikasında çalışma yapmama izin veren Sayın Okan AKCAN'a,

Tez çalışmam süresince yanımda olan, manevi destek sağlayan arkadaşlarıma,

Son olarak beni her konuda destekleyen, güvenen ve her durumda yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişimi ve yaşam koşulların değişimi, müşteri taleplerini çeşitlendirmektedir. Birçok farklı seçeneğin olduğu küresel pazarda firmaların ayakta kalabilmeleri için müşteri taleplerini, makul fiyat ve istenen zamanda karşılaması gerekmektedir. Bu rekabete dayalı endüstriyel üretim ortamında, işletmelerin varlığını ve karlılığını sürdürebilmesi için birim maliyetlerinin düşürülmesi, daha hızlı üretim yapılması, daha kaliteli ürünler üretilmesi bu aşamada önemli bir yer tutmaktadır. Üretim kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması, üretim maliyetlerinin düşürülmesi, üretimin hızlanması bakımından oldukça önemlidir. İşletmeler ellerinde bulunan kısıtlı kaynakları etkin bir şekilde kullanabilmek, verimliliği artırabilmek, kapasite ve kaliteyi artırabilmek, maliyetleri azaltabilmek amacıyla çeşitli çalışmalara başvurmaktadır.

Mevcut sistem üzerinde çalışmalar yapıp sonuç almaya çalışmak hem riskli hem de maliyetlidir. Bu nedenle mevcut sistemlerin taklitlerini yapabilecek simülasyon programları geliştirilmiştir. Bu sayede mevcut sistem simülasyona aktarılarak üzerinde değişiklik yapılabilir ve daha kolay sonuç alınabilecektir. Elde edilen sonuçlar sayesinde mevcut sistemdeki aksayan bölümler açık bir şekilde görülebilecek ve alternatif çözümler üretilebilecektir. Bu yöntem kapasite sorunlarının çözümünde uygulanabilecek etkili bir yoldur.

Rekabet içerisindeki işletmelerde verimlilik unsuru önemli bir etkiye sahiptir. İşletmelerin başarı seviyesini ve karlılık durumunu gösterir. Maliyetlerin düşürülmesi, belli bir girdi miktarı ile maksimum çıktı elde edilmesi yani girdi-çıktı oranının maksimize edilmesi verimlilik artışı ile açıklanmaktadır. Bir işletme belli bir girdi miktarına karşılık çıktı miktarında bir artış gösteriyorsa bu işletmenin verimli çalıştığı anlamına gelmektedir.

Verimliliği etkileyen üç ana unsur bulunmaktadır. Bunlar sermaye, teknolojik gelişme ve emek kalitesidir. Sermaye açısından değerlendirildiğinde, vasıflı işçi çalıştırma ve ileri teknoloji kullanımı verimlilik açısından karlı bir durumdur. Teknolojik gelişme, üretime yeni fikirlerin dahil edilmesi, mevcut fikirlerin iyileştirilmesi durumudur. Emek kalitesi olarak işgücünün yaşı, eğitim seviyesi,

cinsiyeti bunların dışında emek yoğun çalışan işletmeler için çalışma ortamının aydınlığı, sıcaklığı vb. faktörler işgücü verimliliğinin ve dolayısı ile işletme verimliliğinin artırılmasında önemli bir paya sahiptir.

Üretim hızını, verimliliğini etkileyen en önemli faktörlerden biri de montaj hattının dengelenmesidir. Yüksek miktarlarda üretim gerçekleştirebilmek amacıyla tasarlanan montaj hatlarında, iş istasyonlarına atanan operasyonların toplam işlem sürelerinin dengelenmesi sorunu ortaya çıkmaktadır. Montaj hattının verimli olarak çalışabilmesi için belirli kısıtlar altında her bir istasyonun kapasitesinin en yüksek şekilde kullanılmasının sağlanması ve iş istasyonlarının işlem süreleri arasındaki farkın en küçüklenmesi gerekmektedir.

Üretimi gerçekleştirebilmek için yerine getirilecek görevlerin, arasındaki öncelik ilişkileri ihlal edilmeden ve hedeflenen çıktı miktarının elde edilebilmesi için performans ölçütünü en iyileyerek belirlenen çevrim zamanını aşmayacak şekilde görevlerin istasyonlara atanması montaj hattı dengeleme problemi olarak tanımlanır. Montaj hattı dengeleme ile istasyon sayısını veya çevrim süresini minimize etmek amaçlanmaktadır. Montaj hatları günümüzde otomotiv, beyaz eşya, elektronik, gıda, tekstil vb. birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışma, Denizli ilinde faaliyet gösteren dış alt grup üreticisi olan bir tekstil fabrikasında yapılmıştır. Çalışmanın amacı, işletme içerisinde düzenli malzeme akışını sağlamak, işgücü kapasite kullanım oranını en üst düzeyde tutmak, operasyonlar için en az süre ve en az miktarda malzeme kullanmak, darboğazları gidermek ve kapasitenin artırılmasını sağlamaktır. Bu çalışmalar süreç iyileştirme için gerekli olan aşamalardır ve simülasyon optimizasyonu ile bu hedefin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu tez çalışması, altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde rekabet, üretim hizmetleri vb. konuları içeren genel bir giriş yapılmıştır. İkinci bölümde, montaj hatları ve hat dengeleme problemi tanımlanmış, daha sonra hat dengeleme problemlerinde kullanılan kavramlardan ve çözüm yöntemlerinden ayrıntılı bir şekilde bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde, simülasyon yöntemi ve simülasyon çalışmalarındaki uygulama aşamaları anlatılmıştır. Kullanılan simülasyon yazılımlarından bahsedilip optimizasyon ile birlikte nasıl kullanılacağı ve

simülasyon-optimizasyon kavramının ne olduğu açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, simülasyon yöntemi ile montaj hattı dengeleme çalışmaları konusunda yapılmış çalışmaları özetleyen literatür araştırmasına yer verilmiştir. Beşinci bölümde, gerçekleştirilen uygulama çalışması ayrıntılı bir biçimde anlatılmış ve çalışma sonucunda elde edilen bulgular tartışılmıştır. Altıncı ve son bölümde ise yapılan çalışmalar özetlenerek elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar özetlenmiştir.

2. MONTAJ HATLARI

Gelişen endüstri ile işletmeler arasında rekabet de artış göstermiştir. İşletmelerin birbirleri ile rekabet içerisinde olabilmesi için kendi bünyesi içerisinde iyileştirici çalışmalar yapmaları gerekmektedir. İşletmelerin temel amacı müşterilerin taleplerini gecikme olmadan istenen süre içerisinde ve istenen kalite ile teslimini sağlayabilmektir. Bunun için de verimlilik düzeylerini yükseltmeleri, kapasiteyi ve kaliteyi artırmaları bunları yaparken de düşük maliyet ile çalışmalarını gerekmektedir. Bu amaçlara ulaşabilmek için mevcut durumdaki işgücü, makine, malzeme ve teçhizatı kullanılan iş yöntemlerinin standart zamanlarının bulunması ve yeniden tasarlanması gerekmektedir. Bu standart zamanlar üretim planlama, maliyet hesapları, montaj hattı dengeleme vb. alanlarda kullanılmaktadır.

Sürekli üretim sistemlerinde, yüksek üretim hızı ve minimum maliyet ile talebin karşılanması için montaj hatlarından yararlanır. Montaj hattı, bir ürünün üretilmesi için belirli iş istasyonlarının, o ürünü oluşturacak alt malzemelerinin taşınmasını sağlayan taşıma sistemleri ile birleştirilmesinden meydana gelen bir sistemdir. Montaj hatlarında malzemeler, işgücü veya bir sistem yardımı ile sürekli hareket halindedirler. Parça veya yarı mamuller, hat üzerindeki istasyonlarda bulunan çalışanlar tarafından işlem görerek hattın sonunda bir ürün olarak ortaya çıkarlar. Montaj hatlarında iş öğelerinin, iş istasyonları içerisindeki yerleşimi yapılırken öncelik ilişkileri ve çevrim süresi dikkate alınmalıdır.

Montaj hattı kurulumu uzun süreli bir karardır ve genellikle büyük yatırım gerektirir. Bu yüzden, montaj hatlarının iyi bir şekilde tasarlanması ve dengelenmesi üretimin etkin bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için çok önemlidir (Küçükkoç 2020).

Bir montaj hattı tasarlanırken, iş istasyonlarındaki işlem sürelerinin dengeli dağıtılması çok önemlidir. Ürün çeşidi arttıkça hat üzerindeki istasyonlarda iş yükünün dengelenmesi sorunu ortaya çıkar. Amaç, istasyonlardaki boş zamanı azaltmak, üretim hızını artırmak ve istasyonların çevrim süreleri arasındaki zaman farkını azaltmaktır. Sürekli üretimin gerçekleştiği bir üretim hattında bu sorun hat dengeleme problemi olarak isimlendirilmektedir.

Montaj hattı dengeleme, belirli bir zaman dilimi içerisinde belirli bir ürünü üretmek için amaçlanan üretim oranını sağlamayı hedefleyen bir üretim stratejisidir. Montaj hattının etkin bir şekilde çalışabilmesi ve belirlenen zaman dilimi içerisinde mevcut kapasite ile üretim yapabilmesi için, elde edilecek ürünü oluşturan hammadde, mamul ve yarı mamuller üzerinde yapılacak işlemlerin insan, makine ve iş istasyonları arasında dengeli bir şekilde dağıtılması gerekmektedir.

Montaj hattı dengeleme ile proses verimliliğinin geliştirilmesi, üretim oranının artırılması, işlem süresinin azaltılması ve maliyetlerin azaltılması amaçlanmaktadır. Montaj hattı dengelemedeki en önemli unsur, hat üzerindeki istasyon sayısını veya çevrim süresini minimum seviyeye indirmektir.

2.1 Montaj Hattı Dengeleme Problemi

Montaj hattı dengeleme problemi çevrim süresi, iş öğeleri arasındaki öncelik ilişkileri gibi kısıtlar göz önünde bulundurularak görevlerin iş istasyonlarına atanması işlemi olarak tanımlanabilir. Montaj hatları Henry Ford'un 1914'te kullanılması ve onarımı kolay olan bir araba modelini seri olarak üretmeye başlaması ile ortaya çıkmıştır. Her bir iş ögesi farklı işçiler tarafından yapılmaya başlanmıştır. Bu durum üretim süresinin azalmasında ve otomobil fiyatlarının düşmesinde etkili olmuştur.

Montaj hatları, gelişen teknoloji, müşterilerin talep ve ürün değişiklikleri nedeniyle farklı sınıflandırmalara tabi tutulabilir. Üretici firmalar genellikle müşterilerin isteklerine göre üretimi gerçekleştirir. Yalnızca bir tür ürünün bulunmadığı farklı müşterilere göre farklı taleplerin olduğu göz önünde bulundurulduğunda pazarda rekabet edilebilmesi için geleneksel montaj hatlarının yanı sıra farklı yapılandırmalara da ihtiyaç duyulmaktadır.

2.1.1 Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinin Sınıflandırılması

Montaj hattı dengeleme problemleri çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir (Groover 2000).

- Amaca göre (Tip-1, Tip-2, Tip-E, Tip-F)
- Hat yerleşimine göre (Düz, U tipi, Dairesel, S şeklinde vb.)
- Ürün çeşidine göre (Tek modellenli, Çok modellenli, Karışık modellenli)
- Görev sürelerinin durumuna göre (Deterministik, Stokastik)

2.1.1.1 Amaca Göre Sınıflandırma

Amaca göre montaj hattı dengeleme (ALB) problemi dört gruba ayrılabilir.

Tip 1 (ALB-1): Üretim oranı çevrim zamanı (C) verilip, istasyon sayısını (K) minimize edecek şekilde atama yapmak amaçlanır.

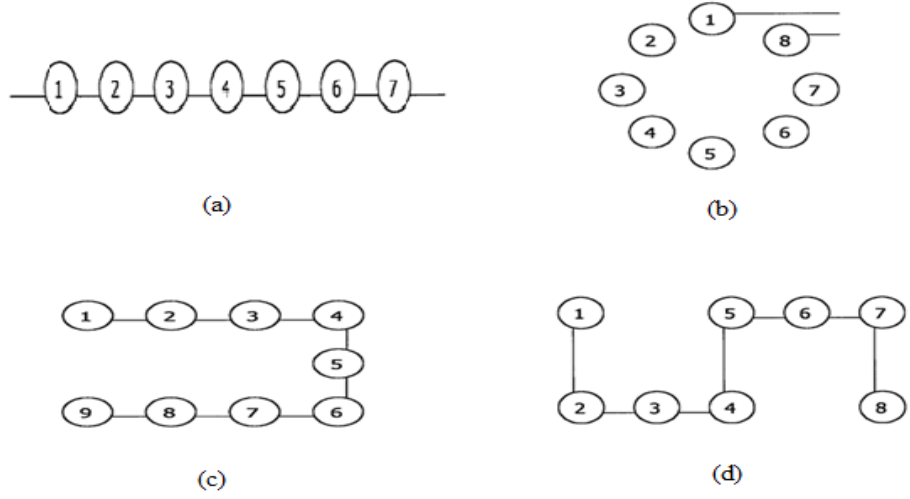
Tip 2 (ALB-2): Belirli sayıda istasyon (K) için maksimum üretim hızı yani minimum çevrim süresi (C) elde edebilmek amaçlanır.

Tip E (ALB-E): Hat etkinliğini (LE) maksimize edebilmek için, K ve C aynı anda minimize edilmeye çalışılır.

Tip F (ALB-F): Belirli bir K ve C değeri için uygun bir çözümün olup olmadığını tespit edilmeye çalışılır.

2.1.1.2 Hat Yerleşimine Göre Sınıflandırma

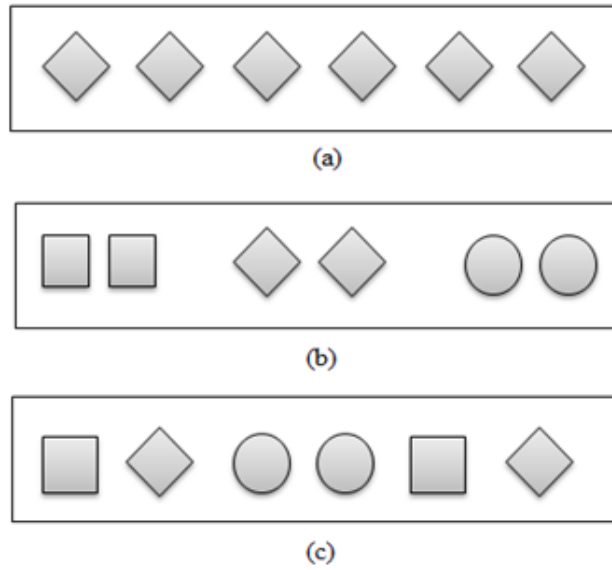
Montaj hatları, hat yerleşimine göre düz, dairesel, U şeklinde, S şeklinde ALB problemleri olarak ayrılabilir. Şekil 2.1'de bahsedilen montaj hattı yerleşimleri gösterilmiştir. Geçmişte montaj hatları düz bir şekilde tasarlanmıştır fakat günümüzde U tipi montaj hatları daha yaygın kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil 2.1: Hat yerleşimi a) Düz hat, b) Dairesel hat, c) U şeklinde hat, d) S şeklinde hat (Küçükkoç 2020)

2.1.1.3 Ürün Çeşidine Göre Sınıflandırma

Üretim hattında tek bir ürün veya birden fazla ürünün üretilmesine göre montaj hattı problemleri sınıflandırılabilir. Bunlar; tek modelli, çok modelli ve karışık modelli montaj hattı problemleri olmak üzere üç gruba ayrılır. Şekil 2.2’de bu hatlara ilişkin örnekler gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Ürün çeşidine göre hatlar a) Tek modelli hat, b) Çok modelli hat, c) Karışık modelli hat (Küçükkoç 2020)

Tek Modelli Hatlar: Basit montaj hattı olarak da bilinen, tek tip ürünün sürekli ve yüksek adetlerde üretildiği montaj hatlarıdır. Günümüzde müşteri taleplerindeki değişkenlikten dolayı bu tür hatlar çeşitli ürünler için kullanışsız olduğundan çok tercih edilmemektedir.

Çok Modelli Hatlar: Değişik modelli ürünler veya aynı ürünün benzerlerinin üretildiği montaj hatlarıdır. Modeller ayrı yığınlar halinde ve farklı zamanlarda üretilirler. Partiler farklı zamanlarda üretildiğinden dolayı birbiri ile karışması söz konusu değildir. Bir partinin üretimi bittikten sonra diğer partinin üretimine başlanır. Normalde tek bir ürün için montaj hattı kurulur. Ardından gelen değişik modeller için hat üzerinde gerekli düzenlemeler yapılır. Bu düzenlemelerin yapılabilmesi için de hazırlık zamanı ve buna bağlı olarak da hazırlık maliyetleri ortaya çıkmaktadır.

Karışık Modelli Hatlar: Müşterinin değişik ürün talepleri üzerine üretimin esnek hale gelmesi tüm işletmelerde bir gereksinim haline gelmiştir. Sonuç olarak tek modelli montaj hattı değişik modellerin üretiminde yetersiz kalmıştır. Değişik modellerin aynı anda ve karma bir şekilde üretimini sağlayacak olan karışık modelli montaj hatları ortaya çıkmıştır. Karışık modelli hatların avantajı bitmiş ürün stoğuna ihtiyaç duyulmaması ve sürekli üretimin mümkün olmasıdır. Dezavantajı ise, düzenli bir üretim akışı olmadığı için ara stoklar, boş beklemler meydana gelebilmektedir.

Montaj hattı dengeleme probleminde optimal çözüme ulaşmak zor olduğu için problemin çözümünde sezgisel ve meta sezgisel yöntemler kullanılmıştır. Montaj hattı dengeleme problemi ile ilgili yapılmış çalışmalar hakkında daha detaylı bilgiler edinmek isteyen okuyucular Sivasankaran ve Shahabudeen (2014) tarafından hazırlanmış derleme çalışmasından yararlanabilirler.

2.1.1.4 Görev Sürelerinin Durumuna Göre Sınıflandırma

Görev sürelerinin durumuna göre montaj hatları; işlem sürelerinin sabit ve belirli olduğu deterministik hatlar ile işlem sürelerinin değişkenlik gösterdiği stokastik hatlar olarak iki başlık altında incelenebilir.

Deterministik Montaj Hatları: İleri teknolojilerin kullanıldığı özellikle de robot teknolojisi ile çalışan işletmelerin kullandığı, ürünün iş istasyonlarındaki işlem süresinin değişmediği montaj hatlarıdır.

Stokastik Montaj Hatları: Emek yoğun işletmelerde kullanılan, ürünün iş istasyonlarında geçireceği sürenin değişken olduğu montaj hatlarıdır. İnsanın hareket hızına göre çevrim süresi değişkenlik göstermektedir. Bu hatlarda yine insan hareketlerine bağlı olarak istasyonlarda ürün birikmesi veya istasyonların boş kalması gibi durumlar ortaya çıkabilmektedir.

2.2 Montaj Hattı Dengeleme Probleminde Kullanılan Kavramlar

İş elemanı: Bir montaj hattında işin tamamlanabilmesi için toplam işin daha küçük alt bileşenlere ayrılması sonucu ortaya çıkan en küçük iş parçalarıdır (Groover 2000). Bir işin yapılabilmesi için üzerinde birçok işlem yapılması gerekir. Maksimum hız ve etkinlikle yapılabilmesi için bu işin mümkün olduğunca küçük parçalara ayrılması gerekmektedir. Bu ayrımın yapılabilmesi ve sürelerinin belirlenebilmesi için işin detaylı bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir.

İş istasyonu: Bir veya birden fazla iş elemanına, üretim hattı üzerinde kurulmuş olan otomatik veya insan gücü ile işlem yapılan birimlere iş istasyonu denilmektedir. İş istasyonlarında bir veya birden fazla iş elemanı bulunabilir.

Toplam iş içeriği: Montaj hattı üzerinde üretilecek olan ürünün montaj işleminin tamamının gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan süre veya işi oluşturan tüm elemanların (iş elemanlarının) standart sürelerinin toplamıdır (Groover 2000). Toplam iş içeriği (T_{wc}), 3.1 numaralı denklem gibi hesaplanır.

$$T_{wc} = \sum_{i=1}^N t_i \quad (3.1)$$

Formülde kullanılan N , toplam iş elemanı sayısı, t_i ise i . iş elemanının işlem süresidir.

İş istasyonu süresi: Bir iş istasyonunda bulunan iş elemanlarının standart sürelerinin toplamıdır (Groover 2000).

Çevrim süresi: Çevrim süresi üretim hattında hat dengeleme sürecinde önemli bir veridir. Bir istasyonda yapılacak olan iş elemanlarının tamamlanması için gerekli olan süreye çevrim süresi denir (Groover 2000). Çevrim süresi 3.2 numaralı denklem kullanılarak bulunur.

$$C = \frac{T}{PR} \quad (3.2)$$

Formülde kullanılan, C Çevrim süresi, T toplam (kullanılabilir) üretim süresi, PR hedeflenen günlük üretim miktarıdır.

İhtiyaç olan en az istasyon sayısı: Bir ürünün çevrim süresini aşmayacak şekilde en az kaç istasyon kurularak işlem göreceğini ifade eder (Groover 2000). Buradaki minimum iş istasyonu sayısı 3.3 numaralı denklem kullanılarak bulunur.

$$n_{min} = \left[\frac{T_{wc}}{C} \right]^+ \quad (3.3)$$

Çevrim süresinin yarısından büyük süreye sahip iş öğeleri sayısı $n_{olası}$ ise n_{min} 3.4 numaralı denklem kullanılarak bulunmaktadır.

$$n_{min} = Enb(n_{enk}; n_{olası}) \quad (3.4)$$

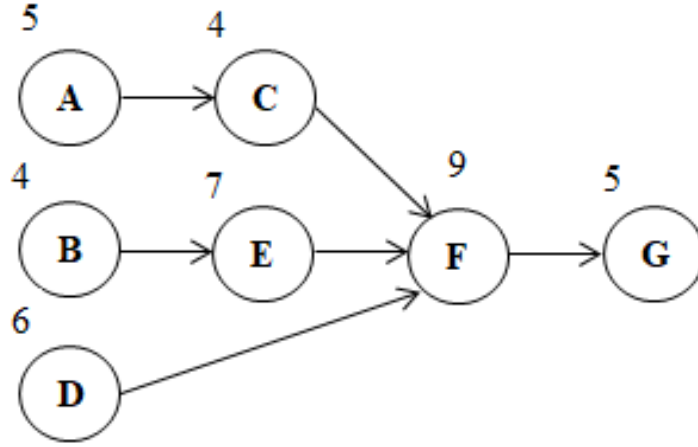
Ortalama istasyon süresi: Hat üzerindeki iş istasyonlarının ortalama işlem süresidir (Groover 2000). 3.5 numaralı denklem kullanılarak bulunur

$$C^* = \frac{T_{wc}}{w} \quad (3.5)$$

C^* ortalama iş istasyonu süresi, w dengeleme sonucunda elde edilen iş istasyonu sayısıdır. Ayrıca $w \geq n_{min}$, $C \geq C^*$ olmalıdır (Genç 2016) (Küçükkoç 2020).

Öncelik diyagramı: Montaj işlemi yapılırken ürünün özelliklerinden dolayı bazı iş elemanları öncelikli olarak yapılmaktadır. Yani birbirinin öncülü ve ardılı olan işler bulunmaktadır. Bu öncelik ilişkilerinin gösterildiği grafiğe öncelik

diyagramı denmektedir. Şekil 2.3'te bir öncelik diyagramı örneği görülmektedir. Bu şekilde daireler iş elemanlarını temsil ederken, dairenin üstündeki sayılar elemanların işlem süresini göstermektedir



Şekil 2.3: Öncelik diyagramı

Öncelik matrisi: Montaj hattı sisteminde, öncelik diyagramının matris haline dönüştürülmesine öncelik matrisi denilmektedir. Boyutu iş elemanı sayısı kadardır. a_{ij} elemanlarından meydana gelir. j görevi, i görevini takip ediyorsa öncelik matrisinde a_{ij} “1” değerini, takip etmiyorsa “0” değerini alır. Tablo 2.1’de bir öncelik matrisi örneği gösterilmiştir.

Tablo 2.1:Öncelik matrisi

		Ardıl İş Elemanları (j)							
Öncül İş Elemanları (i)		-	A	B	C	D	E	F	G
A	-	0	1	0	0	0	1	1	
B	0	-	0	0	0	1	1	1	
C	0	0	-	0	0	0	1	1	
D	0	0	0	-	0	0	1	1	
E	0	0	0	0	-	1	1		
F	0	0	0	0	0	-	1		
G	0	0	0	0	0	0	0	-	

Esneklik oranı: Bir montaj sürecinin öncelik yapısının belirlenmesinde kullanılan bir ölçüttür (Groover 2000). Esneklik oranı (E), Y öncelik matrisinde 0

değere sahip göz sayısı, N iş elemanı sayısı olmak üzere 3.6 numaralı denklem gibi hesaplanır.

$$E = \frac{2 * Y}{N * (N - 1)} \quad (3.6)$$

Denge kaybı: İş elemanlarının iş istasyonlarına dengeli dağılıp dağılmadığını, dengeli ise de ne ölçüde dengeli olduğunu gösteren ölçüttür (Groover 2000). Denge kaybı (E_b) 3.7 numaralı denklem gibi hesaplanır.

$$E_b(\%) = \frac{C - C^*}{C} * 100 = \frac{w * C - \sum_{i=1}^N t_i}{w * C} * 100 \quad (3.7)$$

Düzensizlik indeksi: Montaj hattı sisteminde iş istasyonlarına dağıtılan iş elemanlarının işlem sürelerinin istasyonlardaki düzensizliğini gösteren indekstir. İndeks ne kadar küçük olursa, hat o kadar düzensiz olur. Düzensizlik indeksi (DI) 3.8 numaralı denklem gibi hesaplanır.

$$DI(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^w (T_{max} - T_i)^2}}{w * C} * 100 \quad (3.8)$$

Burada, T_{max} iş istasyonu sürelerinin en büyüğünü, T_i i. iş istasyonu süresini göstermektedir.

Hat etkinliği: Montaj hattında kullanılan otomasyonların veya işgücünün etkin bir şekilde kullanılıp kullanılmadığını gösterir. İş elemanları süreleri toplamının, dengeleme sonucunda elde edilen iş istasyonu sayısı ile çevrim süresinin çarpımına oranına hat etkinliği denir (Groover 2000). Hat etkinliği (LE), 3.9 numaralı denklem gibi hesaplanır.

$$LE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{w * C} * 100 \quad (3.9)$$

Kurumsal etkinlik: Belli bir çevrim süresi ile istasyon sayısını minimum seviyeye indirerek hat dengelendikten sonra elde edilen hat etkinliğidir (Groover 2000). Kurumsal etkinlik (KE), 3.10 numaralı denklem gibi hesaplanır.

$$KE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{C * n_{enk}} * 100 \quad (3.10)$$

2.3 Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinin Çözümünde Kullanılan Yöntemler

Montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümünde kullanılan yöntemler kesin, sezgisel, meta-sezgisel ve simülasyon yöntemleri olarak dört gruba ayrılabilir (Cerbaso ve diğ. 2017).

2.3.1 Kesin Yöntemler

Kesin yöntemler ile, montaj hattı dengeleme problemlerinde en iyi çözüme ulaşılmaya çalışılır. Bu yöntemlerde, işlem sayısı arttıkça çözüm zamanı uzayacak ve en iyi çözüme ulaşmak zorlaşacaktır. Kesin yöntemler olarak ALB problemlerinde, matematiksel programlama, dinamik programlama, dal/sınır algoritması vb. yöntemler kullanılmaktadır. Montaj hattı dengeleme ile ilgili literatür incelendiğinde dinamik programlama ve dal/sınır algoritmasının en çok kullanılan çözüm yöntemleri olduğu görülmüştür. Bu nedenle burada bu iki çözüm yöntemine kısaca değinilecektir.

2.3.1.1 Dinamik Programlama

Dinamik programlama çok aşamalı karar süreçlerinin çözümünde kullanılan güçlü bir algoritmadır. 1920 yılından bu yana önemini artırarak günümüze kadar gelmiştir (Yücel ve Ulutaş 2010). Dinamik programlama yönteminde “Geriye Doğru En İyileme” ve “İleriye Doğru En İyileme” olarak iki şekilde çözüme ulaşılmaktadır. Geriye doğru en iyileme de son aşamadan başlanarak her defasında bir önceki aşamaya geçiş yapılarak çözüme ulaşılır. İleriye doğru en iyileme de ise ilk aşamadan başlanarak her defasında bir sonraki aşamaya geçiş yapılarak çözüme ulaşılır (Doğan 1995). Genelde ileriye doğru en iyileme çözümü kullanılır.

Dinamik programlama karmaşık bir problemin çözümüne ulaşabilmek için öncelikle problemi alt problemlere böler. Alt problemleri çözmeye başlar ve çözümünü kaydederek bir sonraki alt problemlerin çözümünde kaydedilen çözümden başlayarak

çözüm üretmeye çalışır. Yani her çözüm bir sonraki çözüm için başlangıç değeri olur.

Bu yöntem, ALB problemlerinde kullanıldığında çözüm olarak en iyi değeri veren istasyon ataması seçenekleri dikkate alınır. Bunun için de iş elemanlarının her bir istasyona atanarak değerlendirilmesi yapılır. İş elemanı sayısı fazla olursa bu yöntemi kullanmak hem zaman hem de karmaşıklık açısından en iyi çözüme ulaşmakta iyi bir seçenek değildir.

Dinamik programlama ile yapılan literatürdeki çalışmaların bazıları şu şekildedir. Bard (1989), çalışmasında paralel istasyonlu montaj hattı dengeleme problemini ele almış ve bu problem için dinamik programlama algoritmasını önermiştir. Önerilen algoritmanın iki özelliği vardır. Birincisi, bir denge sağlamak için gereken minimum istasyon sayısı ile ek tesisler kurmanın maliyeti arasında bir denge oluşturması ikinci özelliği ise çevrim zamanı içerisindeki boş zamanları dikkate almasıdır. DP sayesinde denge sağlamak için gereken minimum istasyon sayısı ile ek tesisler kurmanın maliyeti arasında bir denge oluşturulmuştur.

Guerriero & Miltenburg (2002), çalışmasında U-tipi montaj hattı dengeleme problemi Tip-1'i stokastik işleme süreleri ile çözmek için DP yaklaşımı sunmuştur. Tip-1 problemi ele alan başka bir çalışma Bautista ve Pereira (2009) tarafından sunulmuştur. Bautista ve Pereira (2009), çalışmalarında Tip-1 (ALB-1) problemini ele almış ve belli bir çevrim süresi içerisinde gerekli olan iş istasyonu sayısını en aza indirmeye çalışmışlardır. Problemin çözümü için sınırlı dinamik programlama adı verilen yeni bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem ile çözüm alanı sınırlandırılmıştır. Literatürde bulunan 269 problemin 267 tanesinde optimal çözüme ulaşıldığı sonucuna varılmıştır.

Daudt (2013), çalışmasında öncelik kısıtlamaları ile basit montaj hattı dengeleme problemi ve bin-paketleme problemi için iki farklı dinamik programlama algoritması kullanmıştır. Her bir algoritmanın arama alanını azaltmak için Jackson hakimiyet kuralı ve Jackson maksimal yüklü istasyon prensibi yaklaşımlarını kullanmış ve sonrasında bu optimizasyonların etkisi ölçülüp karşılaştırmaları yapılmıştır.

2.3.1.2 Dal/Sınır Algoritması

Dal/Sınır algoritması, tüm aday çözümleri sistematik olarak numaralandırarak ve çözümü olmayanları atarak arama yapan bir yöntemdir. 1960'ların başında Land ve Doig tarafından önerilmiştir. Bu yöntem iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama, dallandırma ikinci aşama ise sınırlamadır. Bunların dışında çözüm performansını artırmak amacıyla baskınlık ve azaltma kuralları da kullanılır. Dallandırma aşamasında problem alt problemlere ayrılır. Dallandırma detayı arttıkça son safhalardaki problemlerin çözümünün bilindiği ve optimal çözüm olamayacağı sonucuna varılmaktadır. Bu tür dallanmalara yaprak düğümler denilmektedir (Supçiller 2010). Sınırlama aşamasında ise sayım ağaçlarının boyutunu azaltmak amacı ile bir sınırlama uygulanmaktadır. Optimal çözüme ulaşmaya çalışırken alt ve üst sınır konulmaktadır. Bu sınırlara ulaşamayan çözümler dikkate alınmaz ve atılır. Herhangi bir sınır yoksa algoritma kapsamlı bir arama içerisinde dejenere olur.

Dal/Sınır algoritması ile yapılan literatürdeki çalışmaların bazıları şu şekildedir. Kim ve Yano (1994), esnek üretim sistemlerindeki yükleme problemlerini ele almışlar, parça ve takımların makinelere atanması üzerine çalışmışlardır. Çalışmanın amacı en iyi atamayı yaparak üretim hızını en üst seviyeye çıkarabilmektir. Bu amaçla yeni bir dal/sınır algoritması önermiş ve önerdikleri algoritmanın etkinliğini sayısal çalışmalarla göstermişlerdir.

Ogan ve Azizoğlu (2015), her bir görevin belirli bir ekipman setini kullandığı ve her bir ekipmanın belirli bir maliyetinin olduğu U-tipi montaj hattı dengeleme problemini ele almışlardır. Çalışmanın amacı, toplam ekipman maliyetini en aza indirmek için görevleri ekipmanlarıyla birlikte tahsis etmektir. Çözüm yöntemi olarak karma tam sayılı doğrusal programlama modeli kurulup, çözümün sınırlarını daraltmak için dal/sınır algoritmasından yararlanılmıştır.

Li ve diğ. (2019), belirsiz görev süreleri ile montaj hattı dengeleme çalışması yapmışlardır. İstasyon sayısını en aza indirmek için Charnes ve Cooper (1961) tarafından geliştirilen belirsiz bir programlama modeli olan olasılık sınırlama algoritması Tip-1 U şekilli montaj hattı dengeleme modeli (CC-UALBP1) kullanılmıştır. En uygun çözümleri bulmak için ise dal/sınır algoritması geliştirilmiştir.

Li ve diğ. (2020) ise iki taraflı montaj hatlarındaki istasyon sayısını en aza indirmek için dal/sınır ve hatırla (Branch-Bound-Remember, BBR) algoritması önermişlerdir. Bu yöntemde üst sınırları bulmak için kullanılan Hoffman yöntemi değiştirilip, alt problemleri budamak için hafıza tabanlı maksimum yük kuralı ve hafıza tabanlı genişletilmiş Jackson kuralı olarak adlandırılan iki yeni kural oluşturulmuştur. BBR algoritmasında, görevleri yeniden numaralandırmak ve yeni alt sınırlar da dahil olmak üzere performansı artırmak için başka iyileştirmeler de sunulmuştur. BBR'nin mevcut en iyi kesin yöntemden (dal/sınır algoritma) ve mevcut en iyi sezgisel algoritmadan (yinelenen açgözlü arama algoritması) daha iyi performans gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

2.3.2 Sezgisel Yöntemler

Sezgisel yöntemler, belli bir süre içerisinde optimum/optimuma yakın çözümler verebilen yöntemlerdir. Sezgisel yöntemler en iyi çözümü bulacaklarını garanti etmezler fakat belli bir süre içerisinde bir çözüm elde ederler. ALB problemlerinin çözümünde en büyük aday kuralı, Kilbridge-Western yöntemi ve sıralı konumsal ağırlık yöntemi en yaygın kullanılan yöntemlerdir.

2.3.2.1 En Büyük Aday Kuralı

Montaj hattı dengeleme için kullanılan yöntemlerden biri en büyük aday kuralı yöntemidir. Hat dengeleme için en basit yöntemlerden biridir. Uygulama adımları aşağıda verilmiştir (Groover 2000).

Adım 1: İş elemanları işlem sürelerine göre büyükten küçüğe sıralanır.

Adım 2: İlk iş istasyonuna eleman atamak için listenin en üstünden başlanır ve istasyona yerleştirmek için ilk uygun eleman seçilir. Bu seçim yapılırken öncelik gereksinimlerini karşılmasına ve işlem sürelerinin çevrim süresini aşmamasına dikkat edilir. Bu atama çevrim süresini aşmayacak şekilde eleman atanana kadar devam eder.

Adım 3: Tüm iş elemanları atanana kadar Adım 2 tekrar edilir.

En büyük aday kuralı yöntemi ile yapılan literatürdeki çalışmaların bazıları şu şekildedir. Jaganathan (2014), hazır giyim endüstrisindeki montaj hattı dengeleme problemini ele almıştır. Dengeleme çalışması için “en büyük aday kuralı yöntemini” kullanmıştır. Uzun montaj hattını iş istasyonlarına ayırarak ve bu istasyonlara çevrim süresini geçmeyecek bir şekilde iş elemanlarını atayarak verimliliği artırmaya çalışmıştır. Çalışmanın sonucunda üretim süresi azalmıştır. Bir çalışana birden fazla iş düştüğü için daha az çalışana gereksinin duyulmuştur. Bu da işçilik maliyetlerinin azalmasını sağlamıştır.

Malik ve Khod (2016), otomobil aydınlatma endüstrisinde montaj hattı dengeleme problemini ele almıştır. Çalışmasında “en büyük aday kuralı yöntemini” ele almıştır. Çalışmasında çevrim süresini düşürmeyi amaçlamıştır. Bunun için yalnız üretim araç ve teknikleri incelenmiş ve kullanılmıştır. Çalışmada çalışanın gereksiz faaliyetleri azaltılmış, uzun montaj hattı çalışma hücrelerine dönüştürülmüş ve böylelikle işçinin birden fazla iş yapmasına olanak sağlamıştır. Çalışma sonucunda çevrim süresinin azaldığı, verimliliğin arttığı ve hattın dengeli hale geldiği görülmüştür.

Ayat ve diğ. (2017), bir imalat şirketinde boşa kalma süresini ve darboğazları en aza indirmek için montaj hattı dengeleme çalışması yapmıştır. Dengeleme çalışması için “en büyük aday kuralı yöntemi” kullanılmıştır. Dengeleme çalışması yapılmadan önce görevlerin iş istasyonlarına dengeli atanmadığı bu nedenle hattın toplam sürenin %50sine yakın zamanında boş kaldığı görülmüştür. Hat dengeleme çalışması sonucunda görevlerin istasyonlara dengeli bir şekilde atanması ile daha az sayıda işçilik ve makineye ihtiyaç duyulmuş ve fazla mesai yapılmadan üretim miktarı artırılmıştır. Bu durum çevrim süresini azaltarak verimliliğin artmasını sağlamıştır.

Karmawan ve diğ. (2020), bir üretim hattında meydana gelen darboğazları azaltmak ve istasyonların boşa kalma sürelerini minimuma düşürmek amacı ile hat dengelemesi çalışması yapmıştır. Dengeleme çalışması için “en büyük aday kuralı”, “Killbridge ve Western Metodu” ve “sıralı konumsal ağırlık yöntemi” kullanılmıştır. Çalışma sonucunda bu üç yöntemin hat verimliliği, denge gecikmesi, düzgünlük

indeksi karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda sıralı konumsal ağırlık yönteminin en iyi sonuçları verdiği görülmüştür.

2.3.2.2 Kilbridge-Wester Yöntemi

İş elemanlarının öncelik ilişkisine göre atamasını yapan bir sezgisel yöntemdir. Karmaşık hat dengeleme problemleri için kullanılmıştır. Uygulama adımları aşağıda verilmiştir (Groover 2000).

Adım 1: İş elemanları öncelikli olarak işlem önceliğine göre sütunlara yerleştirilir.

Adım 2: Sütunlardaki işler kendi içerisinde listelenir. Bu listeleme yapılırken en büyük aday yönteminde olduğu gibi işlem büyüklüğüne göre sıralanır.

Adım 3: Listelenmiş tablonun başından başlanarak çevrim süresini aşmayacak şekilde istasyonlara atama yapılır. Bir sonraki iş elemanının dahil edilmesi ile çevrim süresi aşıyorsa sonraki iş elemanları sırası ile dahil edilerek çevrim süresini aşmayacak şekilde atama yapılır. Çevrim süresi aşıldığı zaman yeni bir istasyon açılır.

Adım 4: Tüm iş elemanları atanıncaya kadar Adım 3 tekrar edilir.

Kilbridge ve Wester yöntemi ile yapılan literatürdeki çalışmaların bazıları şu şekildedir. Jaturanonda ve diğ. (2013), iş istasyonlarına montaj görevlerini atamak amacı ile sezgisel bir yöntem geliştirmiştir. Geliştirilen bu yöntem montaj hattının denge gecikmesini en aza indirmek ve ilk görevin iş istasyonuna atanmasını sağlamak amacı ile Kilbridge ve Wester yöntemini kullanır. Çalışanlar arasında iş yükünü dengeli hale getiren ilk görev ataması bu algoritma ile elde edilmiştir. Bu algoritma hazır giyim endüstrisinde uygulamaya konulmuş ve görevlerin istasyonlara eşit ağırlıkta atandığı sonucuna varılmıştır.

Kayar ve Akyalçın (2014), hazır giyim sektöründe montaj hattı dengeleme çalışması yaparak daha az malzeme, makine ve işçilik ile optimum sürede ürün üretilmesi için çalışmışlardır. Bu çalışma için sıralı konumsal ağırlık yöntemi,

Moodie & Young, en büyük aday kuralı, Kilbridge & Wester kuralı, Hoffman, Comsoal olmak üzere 6 farklı sezgisel yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemler sonucunda elde edilen hat verimlilikleri karşılaştırılmış ve dengeleme için en iyi yöntem belirlenmiştir.

Shukla ve diğ. (2018), çalışmasında hat verimliliğini artırmayı amaçlamışlardır. Çalışma, deri çanta imalatı yapan bir işletmede yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda montaj hattının verimsiz çalıştığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada en büyük aday kuralı, Kilbridge ve Wester ve sıralı konum ağırlığı yöntemleri kullanılarak hat dengeleme çalışması ile hat verimliliği artırılmaya çalışılmıştır. Çalışma sonucuna göre hat verimliliğinin artırılabilmesi için en büyük aday kuralı ve sıralı konum ağırlığı yöntemlerinin kullanılması önerilmiştir.

Panchal ve Deshpande (2020), radyatör montaj hattında hat dengeleme çalışması yapmıştır. Çalışmanın amacı istasyon süreleri arasındaki farkı en aza indirmektir. Dengeleme çalışması için sıralı konumsal ağırlık yöntemi ve Kilbridge ve Wester yöntemi kullanılmıştır. Bu iki yöntem hat verimliliği ve düzgünlük indeksi performans kriterlerine göre karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda en iyi yöntem seçilmiştir.

2.3.2.3 Sıralı Konumsal Ağırlık Yöntemi

Bu sezgisel yöntem, General Electric Company'de Helgeson ve Birnie tarafından 1961'de geliştirilmiştir (Eryuruk ve diğ. 2008). Problemlere karşı hızlı bir çözüm üreten fakat problemi her zaman çözebileceğini garanti etmeyen veya problemi belli bir sürede çözebilen fakat optimal çözüme ulaşmayı garanti etmeyen bir yöntemdir.

Her bir iş ögesine, kendisinin ve kendisinden sonra gelen iş ögelerinin sürelerinin toplamı olacak şekilde bir ağırlık verilir. Bu ağırlık, konum ağırlığı olarak geçmektedir. Konum ağırlığı yönteminin uygulama adımları aşağıda verilmiştir. (Küçükkoç 2020)

1. İşin yapılışına bağlı olarak öncelik diyagramı oluşturulur.

2. Her bir iş ögesi için konum ağırlığı değeri hesaplanır (bir iş ögesinin konum ağırlığı, o işi yapmak için gerekli olan süre ve o iş ögesinin ardılı olan iş ögelerinin süreleri toplamına eşittir).
3. İş ögeleri konum ağırlıklarına göre büyükten küçüğe sıralanır.
4. En yüksek konum ağırlığına sahip iş ögesi ilk başta atanmak koşulu ile iş ögeleri sıraya göre istasyonlara atanır.
5. Sıradaki iş ögesi istasyona atandığında çevrim zamanını aşıyorsa, öncelik ilişkilerini ihlal etmediği sürece bir sonraki görev atanmaya çalışılır. Atanabilecek görev yoksa yeni bir istasyon açılır.
6. Tüm görevler istasyonlara atanıncaya kadar 4 ve 5 tekrar edilir.

Sıralı konum ağırlığı yöntemi ile yapılan literatürdeki bazı çalışmalar şu şekildedir. Aksoy ve diğ. (2014), güvenlik ve emniyet ekipmanları üreten bir işletmenin tek model U-tipi montaj hattı dengeleme problemini ele almışlardır. Problemin çözümü için sezgisel yöntemlerden pozisyon ağırlığı yöntemi önerilmiştir. Çalışma sonucunda istasyon sayısı aynı kalıp, çevrim süresinde azalma meydana gelmiştir. Hat etkinliğinin ise %49,83'ten, %60,28'e yükseldiği gözlemlenmiştir.

Akın (2015), mobilya üretimi yapan bir işletmede “konum ağırlıklı montaj hattı dengeleme yöntemi” ile hat üzerindeki mevcut istasyon sayısını minimum sayıya ulaştırmaya çalışmıştır. Bu çalışma ile çevrim süresi kısalmış ve haftalık üretim miktarı artırılmıştır. Dengeleme çalışmasının sınanabilmesi için ise Arena simülasyon programı ile dengelenen hat modellenmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Chavare ve Mulla (2015), tek modelli bir montaj hattının dengelenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmanın amacı, çevrim süresini azaltmak ve hat etkinliğini artırmaktır. Çalışmada konum ağırlıklı dengeleme yöntemi ile işler önceliklerine ve standart sürelerine göre iş istasyonlarına atanarak gerekli olan istasyon sayısı belirlenmiştir. Dengeli hale gelen üretim hattının üretim oranında %25 artış olduğu gözlemlenmiştir.

Jha ve Khan (2017), bir otomotiv üretim hattında makinelerin ve insan gücünün etkin kullanılabilmesi için montaj hattı dengeleme üzerine çalışmışlardır. Çalışmada en büyük aday kuralı, Kilbridge ve Wester yöntemi ve sıralı konumsal ağırlık yöntemlerini kullanarak hat dengeli hale getirilmiştir. Son olarak bu üç

yöntemin sonuçları karşılaştırılmış ve en büyük aday kuralının diğer yöntemlere göre daha iyi sonuç (yüksek hat verimliliği ve düşük boş kalma süresi) verdiği görülmüştür.

2.3.3 Meta-Sezgisel Yöntemler

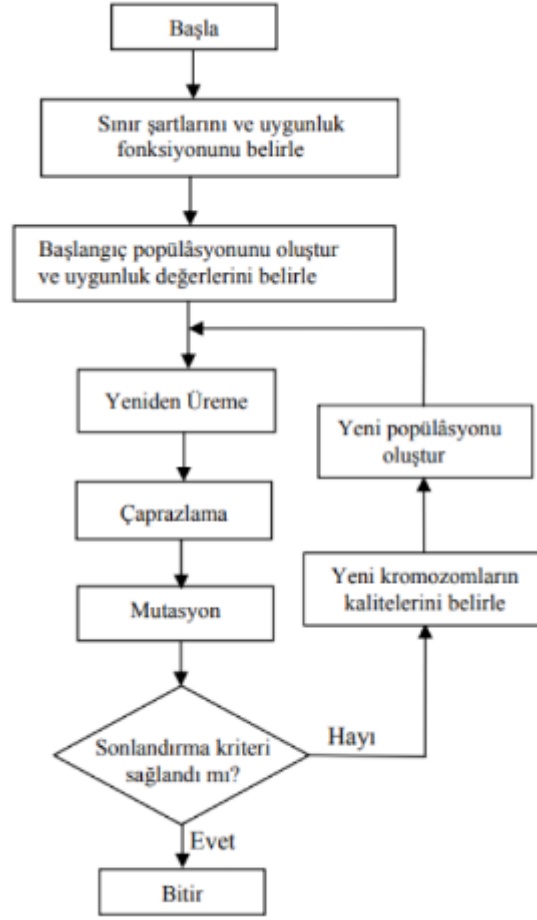
Üst seviye sezgisel yaklaşım yöntemidir. Meta-sezgisel yöntemler oluşturdukları çözüm kümesinden yola çıkarak yeni çözümler üretmeye çalışır. Çözüm uzayında belirli kuralları uygulayarak arama yaparlar ve optimum çözüme yaklaştırmaya çalışırlar. Meta-sezgisel yöntemler olarak ALB problemlerinde, genetik algoritma, tavlama benzetimi algoritması, tabu arama algoritması, karınca kolonisi algoritması gibi temel yöntemler kullanılmaktadır.

2.3.3.1 Genetik Algoritma

Genetik algoritma, 1960 yıllarında John Holland tarafından tanıtılmıştır. 1975 yılında John Holland canlılardaki evrim ve değişimlerinden etkilenecek şekilde genetik evrim sürecini yapay bir sisteme aktarmıştır. Makine öğrenmesi üzerine yaptığı bir çalışmada tek bir mekanik yapının öğrenme yeteneğini geliştirmek yerine birçok yapının çiftleşme, çoğalma, değişim gibi genetik süreçler sayesinde yeni bireyler elde edilebileceğini gösteren çalışması sonucunda yöntemin adı “Genetik Algoritma” olarak tanınmıştır (Güracar 2018).

Genetik algoritma, rastgele oluşturulmuş bir çözüm kümesi ile çözüme başlar. Çözüm kümesi popülasyon, çözüm kümesi içerisinde yer alan her bir çözüm ise kromozomdur. Uygunluk fonksiyonu sayesinde popülasyon içerisindeki kromozomların ne kadar iyi olduğu belirlenir. Uygun olan kromozomlar belirlenir. Yeni bir popülasyon oluşturmak amacı ile uygun olan kromozomların eşleşmesi yapılır. Yeni oluşturulan popülasyon içerisindeki eski kromozomlar çıkartılarak yeni kromozomlar ile bir popülasyon oluşturulmuş olur. Tüm kromozomların uygunlukları tekrardan hesaplanarak yeni popülasyonun başarısı bulunur. GA’ların çalıştırılmaya devam etmesi ile birçok popülasyon elde edilecektir. Tekrar bir eşleme

işlemine geçmeden önce bulunduğu en iyi kromozom çalışmanın sonucu olacaktır. Şekil 2.4'te genetik algoritma akış şeması verilmiştir.



Şekil 2.4: Genetik algoritma akış şeması (Çınar 2019)

Literatürde genetik algoritma kullanılarak yapılan çalışmalardan bazıları şunlardır. Kim ve diğ. (2007), çift taraflı montaj hattı dengeleme çalışması için bir matematiksel model ve genetik algoritma ortaya koymuşlardır. Hat dengeleme işlemi otobüs ve kamyon gibi büyük araçların üretiminin gerçekleştirildiği bir üretim hattında gerçekleştirilmektedir. Genetik algoritma ile hat dengeleme çalışması yapılırken, matematiksel model ile dengelenmiş hattın iyileştirilmesi sağlanmıştır.

Yolmeh ve Kianfar (2012), hazırlık montaj hattı dengeleme ve çizelgeleme problemi (SUALBSP) için genetik algoritmayı önermişlerdir. Amaç, görevleri istasyonlara dengeli bir şekilde atayabilmektir. Görevlerin istasyonlara atanabilmesi için algoritma dinamik programlama yöntemi kullanılarak hibritlenerek çalıştırılmıştır. Sonrasında GA operatörleri ve parametreleri çok faktörlü bir varyans

analizi (ANOVA) ile kalibre edilmiştir. Sonucunda kullanılan GA'nın SUALBSP çözümünde iyi bir performans gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Delice ve diğ. (2016), çalışmalarında stokastik iki taraflı U-tipi montaj hattı dengeleme (STUALB) problemini, genetik algoritmaya dayalı bir algoritma ve sezgisel bir öncelik kuralı prosedürü olarak iki yöntem kullanarak çözmeyi önermişlerdir. Önerilen yöntem ile birincil hedef olarak pozisyon sayısını (U-tipi montaj hattı uzunluğu) en aza indirmeyi ve belirli bir çevrim süresi için ikincil bir hedef olarak istasyon sayısını (yani operatör sayısını) en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Bu yöntemin etkinliğinin değerlendirilebilmesi için literatürden alınan bir problem üzerinde çalışılmış ve iyi bir performans gösterdiği sonucuna varılmıştır.

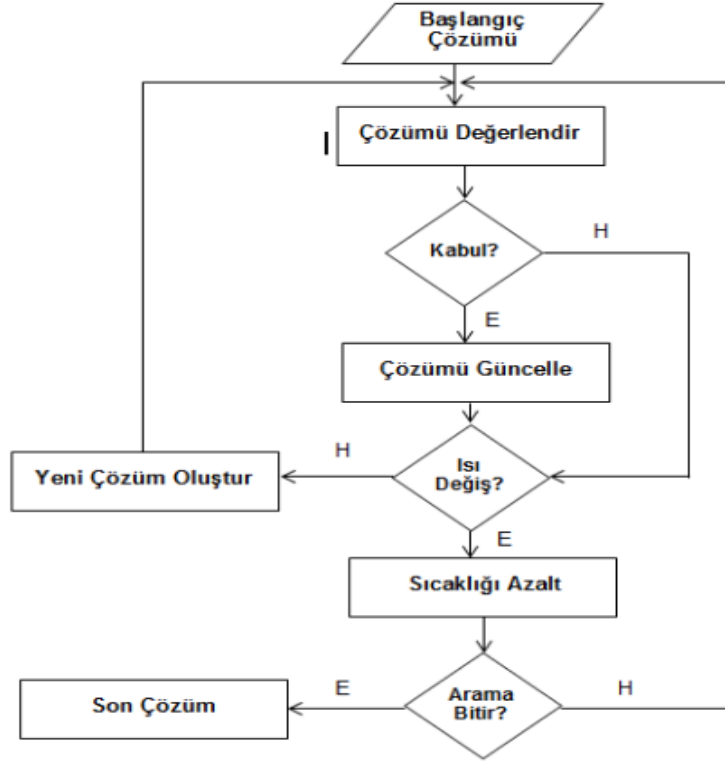
Defersha ve Mohebalizadehgashti (2018), eşzamanlı dengeleme, sıralama ve iş istasyonu planlaması yapılabilen karışık modelli montaj hatlarının dengelenmesi için karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Amaç iş istasyonların sayısını, uzunluğunu ve maliyetini en aza indirebilmektir. Bu problemin çözümünde çok aşamalı doğrusal programlama içinde bir genetik algoritma geliştirilmiştir. Önerilen algoritma ile ikili değişkenler genetik arama algoritması kullanılarak belirlenirken, ikili değişkenlere karşılık gelen sürekli değişkenler, simpleks algoritma kullanılarak doğrusal programlama alt probleminin çözülmesi ile belirlenmiştir.

2.3.3.2 Tavlama Benzetimi Algoritması

Stokastik bir arama yöntemidir. Katıların öncelikle ısıtılması ve daha sonra yavaş yavaş soğutulması durumu gözlemlenerek geliştirilmiştir. 1983 yılında Kirkpatrick ve arkadaşları tarafından önerilen olasılıklı bir arama tekniğidir (Şahin 2019).

Tavlama işlemi, ısı banyosundaki bir maddenin tavlama sıcaklığına kadar ısıtılıp daha sonrasında yavaş yavaş soğutulmasıdır. Tavlama süreci yeterince yüksek bir sıcaklık değerinde başlar ve sıcaklığın yavaş yavaş soğutulmaya başlanması ile çok sayıda çözümler üretilir. Bu çözümler iyi ve kötü çözümlerden oluşmaktadır.

Sonucunda bazı çözümler kabul edilirken bazıları reddedilecektir. Bu işlem optimum sonuç elde edilene kadar devam edilecektir. Şekil 2.5'te tavlama benzetimi akış şeması verilmiştir.



Şekil 2.5: Tavlama benzetimi akış şeması (Subaşı 2015)

Literatürde tavlama benzetimi algoritması kullanılarak yapılan çalışmalardan bazıları şu şekildedir. Simaria ve Vilarinho (2001), belli bir çevrim süresi içerisinde hat üzerindeki istasyon sayısını en aza indirmek, istasyonlar arasındaki dengeyi sağlayabilmek amacı ile tavlama benzetimi yöntemini önermişlerdir. Sonuçlar değerlendirildiğinde önerilen yöntemin karmaşık problemlerin çözümünde iyi bir performans gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Seyed-Alagheband ve diğ. (2011), belli bir iş istasyonu sayısı için çevrim süresini en aza indirmeyi amaçlayan Tip-2 (ALB-2) problemini çözmek için bir matematiksel model ve tavlama benzetimi algoritmasını önermişlerdir. Algoritma ayrıca bir parametre belirleme yaklaşımı olarak Taguchi yöntemi kullanılarak optimize edilmeye çalışılmıştır. Optimize edilmiş algoritmanın hem çözüm kalitesi hem de çalışma süresi açısından etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

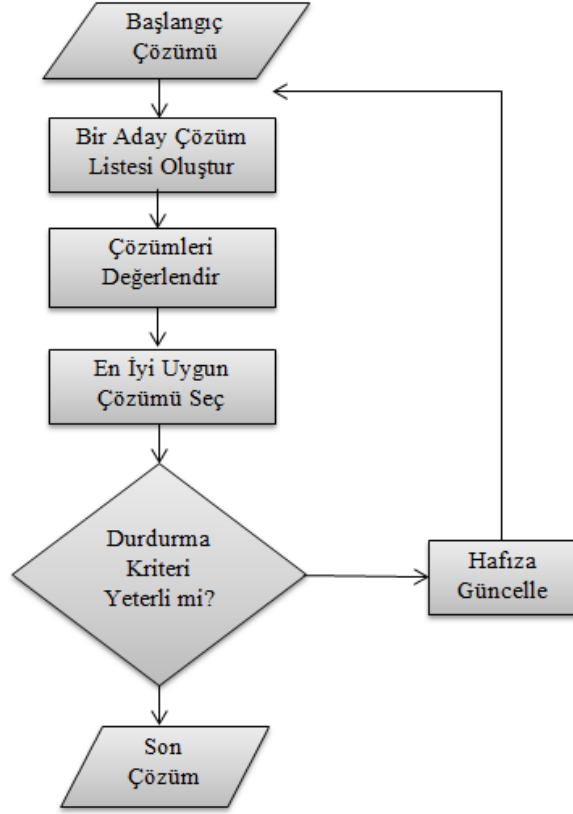
Roshani ve diğ. (2013), bir istasyonda birden fazla insan gücünün çalıştığı yani çok insanlı montaj hatlarının dengelenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışma için tavlama benzetimi algoritması (SA) önerilmiştir. SA tarafından elde edilen sonuçlar literatürdeki diğer kullanılan yöntemler (Talbot ve Patterson (1984), tam sayılı programlama algoritması ve Fattahi ve diğ. (2011), karınca koloni algoritması) ile işçi sayısı, iş istasyonu sayısı, hat verimliliği, pürüzsüzlük endeksi ve alan kullanım faktörü kriterleri dikkate alınarak karşılaştırılmış ve önerilen algoritmanın performansının çalışma için yeterli olduğu sonucuna varılmıştır.

Leitold ve diğ. (2018), stokastik bir üretim hattının dengelenmesi üzerine çalışmışlardır. Çalışmada dinamik programlama, tavlama benzetimi ve Monte Carlo simülasyonu kullanılmıştır. Üretim hattının performans göstergelerini hesaplamak ve iş istasyonlarına görev atamak için dinamik programlama (DP) algoritması önerilmiştir. Sonrasında iş öğelerinin öncelik ilişkileri de dikkate alınarak tavlama benzetimi algoritması ile optimize edilmeye çalışılmıştır. Dengeleme sonuçları incelenmiş ve algoritmanın uygulanabilirliği Monte Carlo simülasyon sonuçları ile doğrulanmıştır.

2.3.3.3 Tabu Arama Algoritması

1986 yılında Glover tarafından geliştirilmiştir. Yerel optimumun ötesinde bulunan bölgesel optimumu bulmaya yönelik bir meta-sezgisel yöntemdir. Esnek bir yapıya sahip olması optimuma yakın çözümler üretebilmesinde etkilidir.

Tabu arama (TS), rassal olarak veya sezgisel bir yöntem ile oluşturulan başlangıç çözümlerin alınması ile başlar. Komşuluk yapısı ile komşu çözümler üretmeye başlar ve bu çözümler arasından tabu listesinde olmayan en iyi çözümleri alır. Mevcut çözümler ile yeni en iyi olan çözümleri yer değiştirir ve bu sayede tabu listesinin yenilenmesini sağlar. En iyi değer elde edilinceye kadar bu süreç devam eder (Apaydın ve Türkkan 2012-2013). Şekil 2.6'da tabu arama algoritması akış şeması verilmiştir.



Şekil 2.6: Tabu arama algoritması (Çayıroğlu 2017)

Literatürde tabu arama algoritması kullanılarak yapılan çalışmalardan bazıları şunlardır. Suwannarongsri ve Puangdownreong (2008), U-tipi montaj hattı dengeleme (UALB) problemleri için tabu arama yönteminin uygulanabilirliğini incelemişlerdir. Üç çeşit UALB problemi tabu arama (TS) yöntemi ile çözülmüş ve sonuç olarak bu yöntemin UALB problemleri için optimal çözümler verebileceğine ulaşılmıştır.

Özcan ve Toklu (2009), otomobil, kamyon, otobüs gibi büyük boyutlu ürünlerin üretildiği montaj hattı dengeleme problemini ele almışlardır. Çalışmanın amacı, hat verimliliği (istasyon sayısını en aza indirme) ve düzgünlük indeksini en aza indirmektir. Bu nedenle problemin çözümü için TS yöntemi önerilmiştir. Bu yöntemin performansının değerlendirilebilmesi için literatürden iki örnek problem alınarak önerilen yöntem ile çözülmüş ve diğer yöntemler ile karşılaştırılarak TS performansı ile ilgili bir sonuca varılmıştır.

Esmailian ve diğ. (2011), karma model üretimini paralel montaj hatları üzerinden dengelemek için görevler tahsis etmede etkili bir tabu arama (Tabu

Search-TS) meta-araştırma yaklaşımı sunmuşlardır. İlk olarak, ilk çözüm sezgisel algoritma ile belirlenmiştir. İkinci olarak, karışık model paralel montaj hattındaki (MMPAL) her bir hat için optimum döngü süresi TS üzerinden hesaplanmıştır. Geliştirilen metodoloji, tabu arama karışık model paralel montaj hattı dengeleme (TMMPALB) modeli, üç ve dört ürün üreten test problemleri üzerinde test edilmiştir. Önerilen prosedürün sonuçları 87 testten 77 test probleminin çevrim sürelerini iyileştirmiştir.

2.3.3.4 Karınca Kolonisi Algoritması

Karınca kolonisi algoritması (ACO), Dorigo ve diğ. (1996) tarafından önerilen ve karıncaların davranışlarının ve birbiri ile etkileşimlerinin izlenmesi ile geliştirilen bir yöntemdir. Bu yöntem ilk defa gezgin satıcı problemi ve kuadratik atama gibi optimizasyon problemlerinde kullanılmıştır (Yıldırım 2016). Bunlar dışında araç rotalama, proje çizelgeleme, sıralama gibi birçok alanda kullanılmaya devam etmiştir.

Karıncalar yiyecek aramalarına kendi yuvalarının çevresinden başlarlar. Bu aramaları rastgele bir şekilde yaparlar. Yiyeceklerini bulduktan sonra yuvalarına en kısa şekilde dönme işlemini görme duyularını kullanarak değil feromon maddesi bırakarak sağlarlar. En iyi yiyeceği bulan karınca dönüş yoluna feromon maddesi bırakır. Diğer karıncalarda bu besine ulaşmak için bu maddeyi takip ederler. Feromon maddesi besinin kalitesi ve miktarı hakkında bilgi verir (Şahin 2019). Bu feromon maddesinin önüne bir engel konulduğu zaman karıncaların takip edebileceği bir yol kalmayacaktır. Bu aşamada karıncaların gidebilecekleri iki yoldan birini rastsal olarak seçmeleri gerekmektedir. Kısa olan yolda zamanla daha çok feromon birikeceğinden dolayı bir süre sonra bu yolda karınca miktarı artacak ve sonrasında en kısa yol olarak kullanılacaktır (Yıldırım 2016).

Karınca koloni algoritması adımları şu şekildedir:

Adım 1: İlk olarak feromon değerlerini belirle

Adım 2: Karıncaları rastgele bir şekilde düğümlere yerleştir.

Adım 3: Her bir karınca için rota oluştur.

Adım 4: Her bir karıncanın aldığı yolu hesapla.

Adım 5: Karıncaların aldığı yol üzerindeki feromon miktarını hesapla.

Adım 6: En iyi yolu seç ve feromon g¼ncellemesi yap.

Adım 7: Optimum değer sağlanıncaya kadar Adım 2'ye geri git.

Literat¼rde karınca algoritması kullanılarak yapılan çalışmalardan bazıları şunlardır. ¼zbakır ve diğ. (2011), paralel montaj hatlarının kapasitesinin artırılması üzerine hat dengeleme çalışması yapmışlardır. Paralel montaj hattı NP-zor bir problem olduğu için öz¼m y¼ntemi olarak karınca koloni algoritması ¼nerilmiřtir. ¼nerilen algoritma literat¼rdeki d¼rt farklı yaklaşımla karşılaştırılmıştır.

Zheng ve diğ. (2012), iş istasyonu sayısını en aza indirmeyi amaçlayan Tip-1 (ALB-1) problemini çözmek için karınca koloni algoritmasını ¼nermiřlerdir. Algoritmada üç sezgisel fakt¼r ve iki feromon kullanılmıştır. Bunlardan biri görev ve istasyonlar arasındaki feromon ikincisi ise görevler arasındaki feromondur. Bu feromonlar ile iş ¼ğelerinin uygun istasyonlara atanması sağlanmıştır. Çalışmanın sonucunda kullanılan y¼ntemin bu problem için uygun değerler verdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Huo ve diğ. (2018), basit montaj hattı dengeleme problemini (SALBP) daha hızlı çözmek ve daha kaliteli sonuçlar vermek amacı ile ışın arama ile birleştirilmiş karınca koloni algoritması (ACO-BS) kullanmışlardır. alışmalarında Tip-1 (ALB-1) yani çevrim s¼resini sabit tutarak istasyon sayısında iyileştirme yapmayı amaçlamışlardır. Problem ACO, ACO-BS, GA ve PSO ile öz¼lm¼ř ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda ACO ve ACO-BS'nin aynı sonuçları verdiği sadece ACO-BS'nin öz¼m kalitesinin daha iyi olduğu g¼r¼lm¼řtür.

Delice ve diğ. (2018), iki taraflı U-tipi montaj hattı dengeleme problemi yapıları (TUALBP) için hazırlık zamanına bağlı bir yaklaşım ¼nermiřlerdir. alışmalarının analizlerinde hazırlık s¼releri dikkate alınmıştır. Bu yaklaşımı çözmek için karınca koloni algoritması kullanılmıştır. Çalışmanın amacı istasyon

sayısını minimize etmektir. Çalışmanın sonuçları hazırlık süreleri olmadan yapılan çalışma ile karşılaştırılmış ve önerilen yaklaşımın TUALBPS'nin çözümünde etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

3. SİMÜLASYON-OPTİMİZASYON METODOLOJİSİ

3.1 Simülasyon Yöntemi

Gerçek bir üretim sisteminde mevcut olan problemleri analiz etmek ve analitik olarak çözmek karmaşık ve güç olabilir. Simülasyon yöntemi, analitik yaklaşımların aksine değişkenler arasındaki etkileşimlerin ve sistemin işleyişinin daha kolay görülebilmesinde ve karmaşık problemlerin gerçeğe uygun bir şekilde modellenip çözülebilmesinde başarılı bir yöntemdir. Genel olarak simülasyonun tanımı yapılacak olursa: gerçek dünyadaki bir sürecin veya sistemin zaman içinde işleyişinin taklididir. İster elle ister bilgisayarda olsun, simülasyon, bir sistemin yapay bir tarihinin üretilmesini ve gerçek sistemin çalışma karakteristiklerine ilişkin çıkarımlarda bulunabilmek için o yapay tarihin gözlemlenmesini içerir (Banks ve diğ. 2004)

Simülasyon günümüzde pek çok alanda kullanılmaktadır. Tıp, askeriye, trafik, üretim vb. pek çok alanda simülasyondan yararlanılmaktadır. Gerçek dünyada var olan bir sistemin işleyişi, simülasyon yardımı ile gerçeği yansıtan yapay bir ortama aktarılarak analiz edilmektedir. Böylelikle zaman alıcı ve maliyetli, kimi zaman da imkânsız olan gerçek sistem üzerinde denemeler yapmak yerine simülasyon aracılığıyla incelenen sistemin modeli üzerinde değişiklikler yapılmak suretiyle mevcut sistemin iyileştirilmesi sağlanmaktadır.

3.2 Simülasyonun Uygulama Aşamaları

Bir simülasyon çalışması, ele alınan problemin tanımlanması ve amacın belirlenmesi ile başlar. Daha sonra ele alınan problemle ilgili veriler toplanır ve mevcut sistemin modeli kurulur. Toplanan veriler model içerisindeki olasılık dağılımları ve çalışma prosedürleri için kullanılır. Kurulan modelin geçerli olup olmadığına bakılır. Bu, modelin güvenilirliği açısından önemlidir. Model, uygun bir simülasyon paketi (Arena, SIMUL-8 vb.) veya genel bir yazılım dili kullanılarak

kodlanır. Kodlandıktan sonra simülasyon modelinin doğru çalışıp çalışmadığı kontrol edilir. Modelin kaç saat çalışacağı, tekrar sayısı, deney sayısı gibi senaryolar belirlenir ve bu doğrultuda model çalıştırılır. Son olarak modelden elde edilen çıktılar analiz edilerek raporlanır. Simülasyonun uygulama aşamaları Şekil 3.1’de verilmiştir.

Bir simülasyon çalışmasının yapılma nedenleri şu şekilde sıralanabilir:

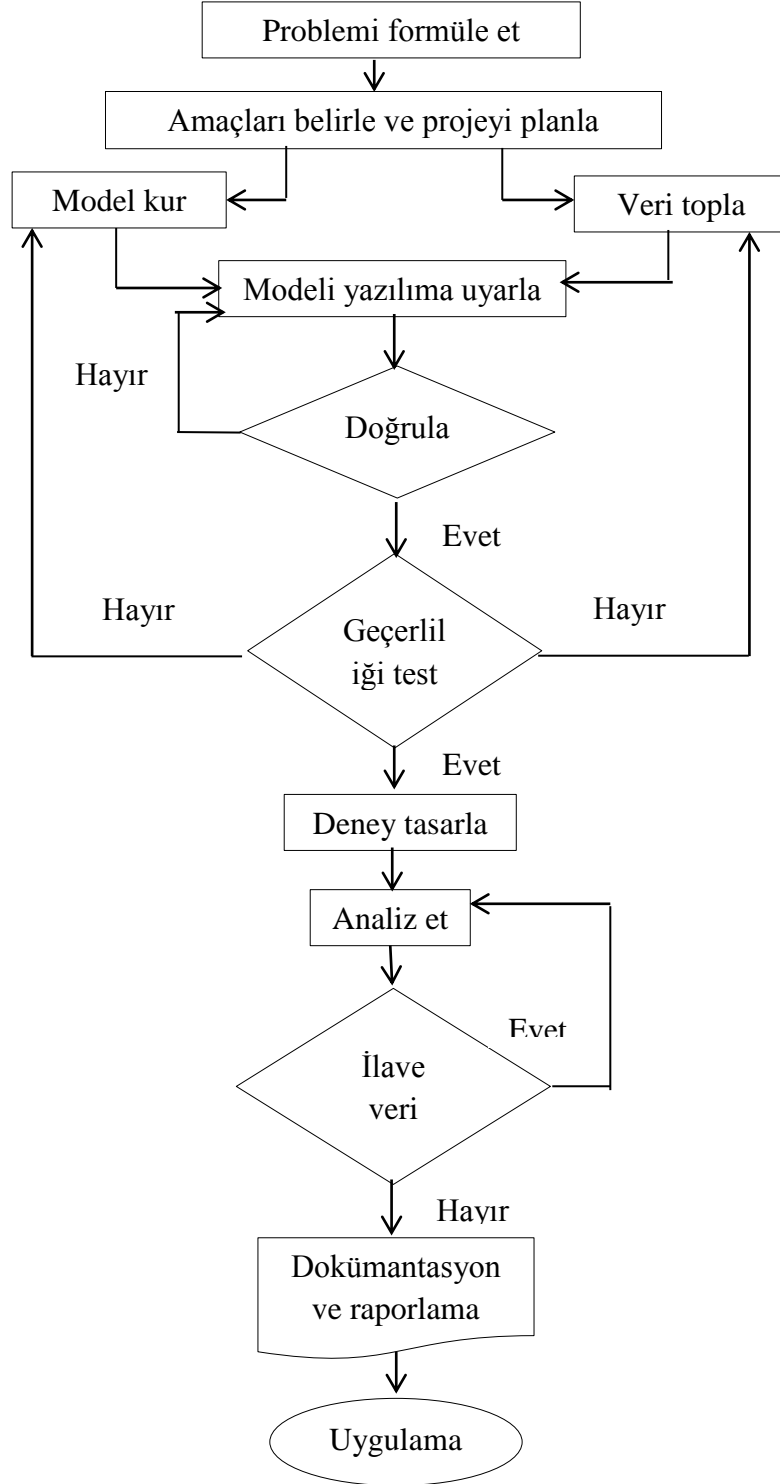
- Gerçek bir sistemin izlenmesinin, süreçler arası bağlantının kurulmasının zor veya çok maliyetli olması,
- Sistemin karmaşıklığından dolayı matematiksel modelin kurulamaması,
- Matematiksel model kurulumu sağlansa bile, çözümünde kullanılacak yöntemlerin yetersiz kalması,
- Deney yapmaya uygun olmayan, tasarım aşamasında olan sistemlerin analizinin yapılabilmesi

Simülasyonun en temel kullanım amacı bir sistemin karmaşık yapısını alt sistemlere varıncaya kadar analiz etmek ve böylece kurulan model yardımı ile gerçek sistem üzerinde değişiklik yapmadan sanal sistem üzerinde denemeler yapıp kararlar vermektir.

Simülasyonun avantajları şu şekilde sıralanabilir (Banks ve diğ. 2004):

- Benzetim modeli kurulduktan sonra, önerilen yeni tasarımların veya yeni politikaların analizinde kullanılabilir.
- Yeni bir sistemin analizine yardımcı olmak için kullanılır.
- Benzetim modelinden veri elde etmek, gerçek sistemden aynı verileri elde etmekten daha ucuzdur.
- Benzetim tekniği, analitik metotları uygulamaktan daha kolaydır.
- Analitik modellerde çözüme ulaşabilmek için birçok basitleştirici kabullerin yapılması gerekirken, benzetim modellerinde böyle bir kısıtlama yoktur.

- Analitik modeller ile kısıtlı sayıda performans ölçütleri hesaplanabilir. Benzetim modelleri ile akla gelebilen herhangi bir performans ölçütü tahmin edilebilir.
- Bazı durumlarda, benzetim, bir çözümün elde edilmesi için tek araçtır.



Şekil 3.1: Simülasyon uygulama aşamaları (Banks ve diğ. 2004)

Dezavantajları ise aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Banks ve diğ. 2004):

- Benzetim modellerinin kurulması ve geçerliliğinin araştırılması, zaman alıcıdır. Bu nedenle bilgisayarlarda benzetim modellerinin koşum maliyeti yüksek olabilir.
- Maliyeti etkileyen diğer bir faktör benzetim modellerinin birden fazla (n kez) çalıştırılması ihtiyacıdır. Bu durumda bilgisayar maliyeti artmaktadır.
- Benzetimin analitik tekniklerin yeterli olabileceği durumlarda da zaman zaman kullanıldığı gözlenmektedir.
- Genel olarak, tüm benzetim modelleri, “girdi-çıkıtı” modelleri olarak adlandırılır. Verilen bir girdi seti için sistemin çıktısını elde ederler. Yani, benzetim modelleri matematiksel modellerde olduğu gibi çözümler, çalıştırılırlar.
- Belirli koşullar altında, sistemin tavrını incelemek için kullanılırlar.

Simülasyon çok çeşitli alanlarda uygulanabilir. Bu alanlar; sağlık hizmetleri, trafik ışıklarının simülasyonu, üretim sistemlerinin analizi, montaj hattı dengeleme, işgücü planlaması, malzeme taşıma ve dağıtım sürecinde, askeri operasyonlarda, yangın söndürme istasyonları yerlerinin belirlenmesinde ve bu alanlarda bulunacak araç sayısının belirlenmesinde, bankacılık hizmetleri sürecinde, ambulans bulundurulması gereken yerlerin ve ambulans sayısının belirlenmesinde, lojistik planlama, yerleşim optimizasyonu vb. alanlardır.

3.3 Simülasyon Yazılımları

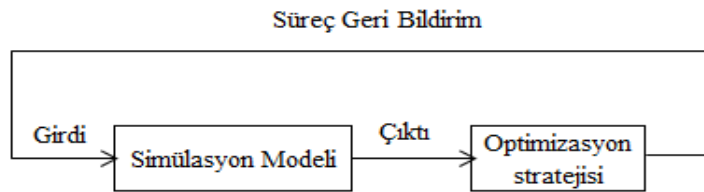
Simülasyon için genel programlama dilleri kullanılabileceği gibi özel simülasyon dilleri ve/veya bu diller kullanılarak hazırlanmış paket programlar kullanılabilmektedir. Özel simülasyon dilleri arasında en yaygın kullanılanlar SIMAN, GPSS, SIMSCRIPT, SLAM II, Q-GERT, Simcal, Simula, GASP IV, CSI, PSSM olarak sıralabilir.

En yaygın kullanılan simülasyon paket programları ise ProModel, Automod, Arena, Simul8, Simio, Flexsim Software, Plant Simulation, GoldSim, Enterprise Dynamics, ExtendSim, ModelRisk, @RISK, WITNESS ve Process Model'dir.

3.4 Simülasyon-Optimizasyon

Simülasyon, gerçek yaşamda bir sürecin veya sistemin zaman içinde işleyişinin taklididir (Banks ve diğ. 2004). Simülasyon modelinde sisteme girecek olan tüm girdiler (geliş zamanı, sistemde geçireceği süre vb. bilgiler) bilinirken, çıktı miktarı, sistemin kapasite kullanım oranı, sistemin etkinliği vb. bilgiler bilinmemektedir. Bu bilgilere simülasyon sonucunda ulaşılır. Optimizasyon ise belirli kısıtlar altında en uygun maliyetli veya elde edilebilir en yüksek performansa sahip bir alternatif bulma anlamına gelmektedir. Simülasyon-optimizasyon yaklaşımı ile ilgilenilen sistem simülasyon aracılığı ile modellenerek belirli bir optimizasyon tekniği kullanmak suretiyle modelden en iyi performans elde edilmeye çalışılır.

Simülasyonun karmaşıklığı nedeniyle, amaç fonksiyonun değerlendirilmesi zor ve pahalı olacağından simülasyon tabanlı optimizasyon, optimizasyon tekniklerini simülasyon analizine entegre ederek değerlendirme işini kolaylaştırır. Simülasyonda amaç, farklı girdi değişkenlerinin sistem üzerinde oluşturduğu etkiyi değerlendirebilmektir. Fakat modelin karmaşıklığı arttıkça tüm girdilerin değerlendirilmesi zor ve pahalı olacaktır. Bu nedenle, tüm olası girdi değerlerini denemek yerine en uygun girdi değerlerini bulmak amaçlanır. Bu işlem "simülasyon optimizasyonu" olarak adlandırılır.



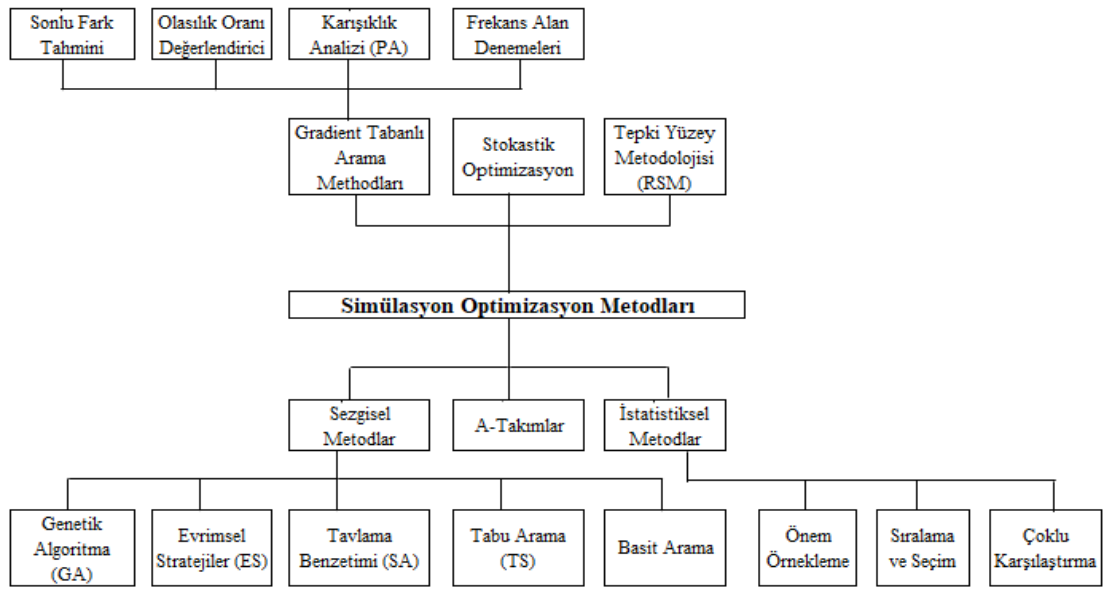
Şekil 3.2: Simülasyon optimizasyon modeli. (Carson ve Maria 1997)

Şekil 3.2'de simülasyon-optimizasyon metodolojisi gösterilmiştir. Burada simülasyon modelinin çıktısı, bir optimizasyon stratejisi tarafından optimal çözüm

için arama prosesi üzerinde geri bildirim sağlayarak simülasyon modeline yönlendirilir.

3.5 Simülasyon-Optimizasyon Yöntemleri

Farklı simülasyon yöntemlerinde farklı optimizasyon metotları kullanılmaktadır. Bu optimizasyonlar da farklı teknikler ile çalışmaktadır. Şekil 3.3'te çeşitli simülasyon optimizasyon metotları verilmiştir.



Şekil 3.3: Simülasyon optimizasyon metotları (Carson ve Maria 1997)

Gradyan tabanlı arama yöntemleri; amaç fonksiyonunun durumunu belirlemek için cevap fonksiyonu gradyanını tahmin eder ve deterministik matematiksel programlama kullanılır (Carson ve Maria 1997). Bu metot, türev bilgisi gerektirir. Türevlerin kolay bir şekilde hesaplanabileceği problemlere uygulanır. Arama aşamasında fonksiyonun türevi sıfıra çekilir. Algoritma, fonksiyonun türevi sıfıra çok yakın olduğunda sona erer ve karşılık gelen x , fonksiyonun minimum olduğu nokta ($x^* = x$) olarak bildirilir

Stokastik optimizasyon; değerleri analitik olarak bilinmeyen ancak tahmin edilebilen veya ölçülebilen objektif bir fonksiyon için yerel bir optimum bulma problemidir (Carson ve Maria 1997).

Tepki yüzeyi metodolojisi; istatistiksel ve matematiksel teknikten meydana gelen bir metottur. Tepki yüzeyi metodolojisinin amacı, girdi değişkenleri ile tepki değişkenleri arasındaki ilişkiyi bulmaya çalışır. Süreç doğrusal regresyon modeli ile başlar. *P*-değeri düşük çıkarsa, daha yüksek dereceli ikinci dereceden bir polinom regresyonu uygulanır. Girdi ve yanıt değişkenleri arasında iyi bir ilişki vardır. Simülasyon optimizasyonunda, tepki değişkenleri açısından istenen sonuçları üreten en iyi girdi değişkenlerini bulmak için tepki yüzeyi yöntemi kullanılabilir.

Sezgisel yöntemler; geleneksel yöntemlerle çözülmesi zor olan problemlerin çözümünde kullanılır. Büyük boyutlu optimizasyon problemleri için en iyi sonucu vereceğini kabul etmese bile optimuma en yakın çözümü verebilen yöntemlerdir. Son zamanlarda sezgisel algoritmalarından en yaygın kullanıma sahip olanlar genetik algoritma ve tabu arama yöntemleridir.

A-Team; sinerjik olarak etkileşime girebilmeleri için çeşitli problem çözme stratejilerini birleştirmeyi amaçlayan bir süreçtir. A-Teams doğası gereği çok kriterli simülasyon optimizasyonu problemleri için uygundur ve bu nedenle simülasyon optimizasyonu araştırmalarının en hızlı büyüyen alanlarından birisidir.

Tablo 3.1’de bazı simülasyon yazılımlarına göre optimizasyon paketleri ve kullandığı metotlar gösterilmiştir.

Tablo 3.1: Simülasyon yazılımları, optimizasyon paketleri ve metotları (Amaran ve diğ. 2014)

Optimizasyon Paketleri	Önerilen Simülasyon Yazılımları	Optimizasyon Metotları
AutoStat	AutoMod	Evrimsel strateji
Evolutionary Optimizer	ExtendSim	Evrimsel strateji
OptQuest	FlexSim, @RISK, Simul8, Simio, SIMPROCESS, AnyLogic, Arena, Crystal Ball, Enterprise Dynamics, ModelRisk	Serpilme arama, tabu arama, tamsayılı programlama, yapay sinir ağları
SimRunner	ProModel, MedModel, ServiceModel	Genetik algoritma, evrimsel stratejiler
RISKOptimizer	@RISK	Genetik algoritma
WITNESS Optimizer	WITNESS	Tavlama benzetimi, tabu arama, tepe tırmanma
GoldSim Optimizer	GoldSim	Kutu kompleks methodu
Plant Simulation Optimizer	Siemens PLM software	Genetik algoritma
ChaStrobeGA	Stroboscope	Genetik algoritma
Global Optimization Toolbox	SimEvents (Matlab)	Genetik algoritma, tavlama benzetimi, desen arama

Simülasyon-optimizasyon yaklaşımı ile ilgili literatürde bulunan çalışmaların bazıları şu şekildedir:

Lee ve Kim (2001), süreç planlama ve programlamayı aynı anda düşünmek için, süreç planı alternatifleri yerine süreç planı kombinasyonlarına dayanan performans ölçümlerini hesaplamak için bir simülasyon modülü sunmuşlardır ve bu ölçümler, çözüm geliştirme yönünde önde gelen bir genetik algoritma (GA) ile beslenmektedir.

Azadeh ve Maghsoudi (2010), üretim sistemlerinin performansını optimize etmek için bir vaka incelemesi olarak çelik üretim atölyesini ele almıştır. Yaklaşımlarını simülasyon, deney tasarımı (DOE) ve tabu search (TS) ile tamamlamışlardır. Simülasyon modeli tüm büyük ve ayrıntılı işlemler göz önüne alınarak ve etkileşimli sistemler göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur ve yerel optimum oran en dik çıkış ile belirlenmiştir.

Chen (2013), bir gofret fabrikasında programlama işlerinin performansını artırmak için optimize edilmiş kural füzyonu ve belli kural yaklaşımı sunmuştur. Bu yeni kuralla ortalama çevrim zamanını, çevrim zamanı standart sapması, maksimum gecikme ve aynı zamanda geç kalmış işlerin sayısının optimizasyonunu

hedeflemektedir. Bir işin çevrim zamanını tahmin etmek için daha etkili bir bulanık sinirsel yaklaşım uygulanmıştır. Lineer olmayan füzdyondaki ayarlanabilir parametrelerin değerleri yanıt yüzeyi yöntemi (RSM) kullanılarak optimize edilmiştir. Önerilen metodolojinin etkinliğini değerlendirmek için üretim simülasyonu uygulanmıştır. Sonuç olarak önerilen metodolojinin aynı anda dört amacı iyileştirmede mevcut yaklaşımlardan iyi olduğu görülmüştür.

Lin ve Chen (2015), yarı iletken arka uç imalatında, kapasite, yetenek ve üretim davranışlarına bağlı minimum akış süresi elde etmek için iş atölyesi problemini incelemiştir. Performans değerlendirmesi için bir simülasyon, bir genetik algoritma (GA) ve optimum hesaplama bütçesi tahsisi (OCBA) optimizasyon stratejisine dahil edilmiştir. Yaklaşımlarında, GA optimum çözümü ararken OCBA, premium alternatifleri belirlemek ve yeni popülasyonlar oluşturmak için uygun simülasyon kaynaklarını tahsis etmişlerdir.

Köse ve diğ. (2015), sistem kapasitesini artırmak için bir ısı eşanjörü üretim tesisinde tampon tahsis problemini çözmek için bir simülasyon optimizasyonu üzerine bir çalışma yapmışlardır. Optimizasyon için, üç meta-sezgisel arama algoritmasını (genetik algoritma, tavlama benzetimi ve tabu arama) ikili arama algoritması ile birleştirmişlerdir.

Kanduc ve Rodic (2015), Sloven mobilya fabrikasında fabrika düzenini optimize etme üzerine çalışmışlardır. Üretim sisteminin mevcut durumu ayrık olay simülasyonu (DES) ile analiz edilmiştir. Bu simülasyon modeli üretim süreçleri hakkında bilgi vermektedir ve üretim işlemlerini optimize etmek için model parametrelerinin kolayca değiştirilebilmesini sağlamıştır. Optimizasyon problemi çözülmüştür. Optimum bir makine yerleşimi tasarlanarak ürünlerin makineler arasında geçiş yapması gereken toplam mesafe en aza indirilmiştir. Kuvvet yönelimli grafik çizim algoritmalarına dayalı yeni bir sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Zemin düzenini optimize etmek, ürünler için toplam seyahat mesafesinde önemli bir azalma sağlamıştır. Bu da üretim akışını hızlandırmıştır.

Jaffrey ve diğ. (2017), imalat endüstrisinde, verimliliği artırmayı ve üretim hattının daha etkin hale getirilmesini hedeflemiştir. Gerekli olan veriler toplanmıştır. Üretkenliği ve verimliliği etkileyen problemler belirlenmiştir. Çıktı

verimliliğini ve etkinliğini sağlayabilmek için Witness simülasyon yazılımı kullanılarak bir çalışma yapılmıştır.

Neeraj ve diğ. (2018), bir fabrikada alüminyum fren braketlerinin akışını incelemek, darboğazları bulmak ve fabrikadaki verimlilik ve iş gücü gereksinimlerini hesaplamak amacıyla Arena yazılımını kullanmışlardır. Ayrıca optimizasyon için de Arena'da yer alan Process Analyzer (PAN) ve Opt Quest gibi diğer araçları kullanmışlardır.

4. LİTERATÜR TARAMASI

Montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümünde ikinci bölümde de anlatıldığı üzere birçok farklı yöntem kullanılabilir. Bu tez çalışması kapsamında montaj hattı dengeleme probleminin çözümünde simülasyon-optimizasyon yaklaşımı kullanılmıştır. O nedenle bu bölümde literatürde montaj hattı dengeleme probleminin çözümünde simülasyonun kullanıldığı çalışmalar özetlenmiştir.

Kitaw ve diğ. (2010), çalışmasında giysi imalatında karşılaşılan problemleri ele almıştır. Meydana gelebilecek darboğazlar ve sistem performansı analizi Simul-8 simülasyon programı ile elde edilmiştir. Daha sonrasında mevcut sistemde görülen problemlerin iyileştirilebilmesi amacı ile çeşitli senaryolar geliştirilmiş ve en iyi senaryo bulunmaya çalışılmıştır.

Cortes ve diğ. (2011), bir motosiklet imalat şirketi için montaj hattı dengeleme problemini ele almışlardır. Dengeleme çalışması için iki farklı yöntem kullanılmıştır. Bunlardan biri “Konum Ağırlıklı Dengeleme Yöntemi” diğeri ise “Yeni Bir Komşu Arama Yöntemidir”. Mevcut durum bu iki yöntemin farklı senaryoları ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmayı yapabilmek için Arena simülasyon programı kullanılmış ve farklı öneriler bu program ile test edilip karşılaştırması yapılmıştır. Bu yöntemler sonucunda verimliliğin arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Eryürük (2012), çalışmasında bir konfeksiyon endüstrisinin elbise modeli montaj hattını ele almıştır. Mevcut durumu Arena simülasyon modeli ile incelemiş ve daha sonrasında montaj hattı dengeleme problemi için iki sezgisel yöntem kullanarak problemin çözümüne ulaşmıştır. “Probabilistik Hat Dengeleme Yöntemi” ve “En Geniş Küme Algoritması” yöntemleri kullanılarak çok modelli hat dengelemesi çalışması yapılmıştır. Çalışma sonucunda Probabilistik Hat Dengeleme yönteminin, En Geniş Küme Algoritmasına göre daha hassas sonuçlar verdiği ancak Probabilistik Hat Dengelemede iş ögelerinin daha fazla iş istasyonuna atanmasından dolayı daha düşük hat verimliliği elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır.

Zupan ve Herakovic (2015), dengeleme ve ayırık olay simülasyon yaklaşımını kullanarak üretim hattını optimize etme üzerine çalışmışlardır. Sadece üretim hattı dengelemenin iyi sonuçlar verdiğini fakat optimal sonuçlar vermediğini savunarak hat dengelemeyi simülasyon ile entegre etmişlerdir. Simülasyon metodu olarak Plant Simulation programı kullanılmıştır. Bu program ile hat dengelemesi yapılmadan önceki durum ve hat dengelendikten sonraki durum analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonucunda verimliliğim %400 arttığı, çevrim süresinin 88 dakika 30 saniyeden 22 dakika 15 saniyeye düştüğü, ara stokların 1700 adetten 80 adete düştüğü ve bekleme süresi çalışma süresinin %30 iken çalışma sonunda %2,6'ya indiği görülmüştür.

Büyüksaatçi ve Tüysüz (2015), 22 inç LCD TV montajı yapan bir üretim hattında hat dengeleme için iki farklı yöntem önermiştir. Bu yöntemlerden birincisinde çalışan sayısı sabit tutularak (Yöntem 1) ikincisinde ise konumsal ağırlık yöntemi (Yöntem 2) ile hat dengeleme çalışması yapılmıştır. Mevcut durum ve iki yöntem Arena simülasyon programı ile analiz edilmiştir. Önerilen bu iki yöntem karşılaştırıldığında Yöntem 1'de günlük ortalama çıktı miktarı 900 iken Yöntem 2'de 701 olduğu sonucuna varılmış bunun dışında iş istasyonu kullanım oranı olarak Yöntem 2'nin, verimlilik açısından Yöntem 1'in, iş istasyonu sayısı açısından Yöntem 2'nin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Bon (2016), bir motosiklet endüstrisinin üretim hattının iyileştirilmesi yönünde çalışma yapmıştır. Bu çalışmasını yaparken kuyruk oluşan istasyonlarda bulunan ürünlerin bekleme süreleri ele alınmıştır. Çalışmada, Arena simülasyon programı kullanılmıştır. Simülasyon sonucunda istasyonlarda kuyruk oluşturan ürünlerin bekleme süreleri tespit edilmiş ve çözüm yöntemi olarak makine ve operatörlerin hızının artırılması gerektiği bu sayede bekleme sürelerinin azalacağı belirtilmiştir. Makine ve operatörlerin hızının artırılması ile iş öğelerinin standart süreleri azalıp, çevrim süresini aşmayacak şekilde bazı iş öğeleri bir istasyona atanmıştır. Bu çözüm yöntemi istasyon sayısının azalmasını sonucunda hat etkinliğinin artmasını sağlamıştır.

Jamil ve Razali (2016), bir imalat şirketinde otomobil parçasının montaj hattı sistemini simülasyon yöntemi ile incelemiştir. Yakıtların buhar filtrelerinde kullanılan karışık modelli montaj hattı sistemine sahip olan kömür teneke kutularının

üretimi ele alınmıştır. Şirketin tampon stok uygulaması çalışmasına rağmen üretim oranının müşteri talebini karşılamadığı görülmüştür. Mevcut durum ProModel simülasyon programına aktarılmış ve darboğaz oluşturan, verimsiz çalışan istasyonlar belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre tıkanıklık olan yerlere tampon eklenmiş, işlem süresini ve boş zamanları azaltmak amacı ile istasyonlara insan gücü eklenmiştir. Bu çalışma ProModel simülasyon yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

Kayar ve Akalin (2016), bluz üretimi montaj hattı dengeleme çalışmasında sezgisel yöntemlerden biri olan Hoffman yöntemi ve simülasyon yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada optimum seviyede makine ve iş gücü kullanarak maksimum hat etkinliğine ulaşılmak istenmiş ve Hoffman yönteminin hazır giyim sanayisinde montaj hatlarında uygulanabilir olduğu gösterilmek istenmiştir.

Dang ve Pham (2016), bir ayakkabı imalat şirketinin montaj hattının performans ölçüsünü artırmaya çalışmışlardır. Modellemesi için “kesikli olay simülasyonu” kullanmışlardır. Uyarlanabilir Büyük Komşu Arama (ALNS) yöntemi geliştirilmiş ve simülasyona entegre edilmiştir. Bu sayede modeldeki sorunlu yerlerin tespit edilmesi kolaylaşmıştır. Çalışmanın sonunda mevcut durum, önerilen yöntemin sonuçları ile karşılaştırılmış ve önerilen algoritmanın üretimin performansını tanımlamak için kullanılan çift/kişi/saat değerlendirmesinde iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

Amane ve Jadhav (2016), çalışmalarında jeneratör üretimi yapılan bir montaj hattının dengelenmesini ele almışlardır. Dengeleme çalışması konum ağırlıklı denge yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Promodel simülasyon yöntemi kullanılarak üretimin akışı hakkında bilgi sağlanmıştır. Mevcut durum ve dengelenmiş durum Promodel yöntemi ile simüle edilmiş ve performans karşılaştırılması için kaynak kullanım oranı, üretim oranı vb. değerler kullanılmıştır.

Peng ve diğ. (2017), montaj hattı dengeleme sorununu ele almışlardır. Bu problemin çözümünde ise genetik algoritma ve simülasyon programını önermişlerdir. Çalışmada Tip-1 montaj hattı dengeleme problemi ele alınmış ve buna göre matematiksel model oluşturulmuştur. İş istasyonu sayısını optimize edebilmek amacı ile genetik algoritmalarından yararlanılmış ve daha sonrasında darboğazların tespit edilebilmesi için Plant simülasyon yöntemi kullanılmıştır. Elektrikli kılavuz çekme

makinesi montaj hattında bir uygulama yapılarak önerilen yöntem test edilmiş ve sonucunda genetik algoritmalar ve simülasyon entegrasyonu ile montaj hattının verimliliğinin arttığı ve darboğaz oluşturan istasyonların iyileştiği sonucuna varılmıştır

Zhou ve diğ. (2018), çalışmasında geleneksel üretim deneyimi ve manuel hesaplama yöntemlerinin üretim hattı planlaması için yetersiz kaldığını düşünerek ayrık olay simülasyon yöntemini kullanarak bir üretim planlaması çalışması yapmışlardır. Çevrim süresi, darboğazlar, işçi miktarı gibi temel faktörler dikkate alınarak ön planlamanın performansını artırmak için simülasyon ile çeşitli senaryolar denenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Sime ve diğ. (2019), çalışmalarında hazır giyim endüstrisinde hat dengeleme için bilgisayar simülasyon tekniği uygulama çalışmalarını genişletmeyi amaçlamışlardır. Çalışma 54 operasyon ve 62 operatör ile yapılmıştır. Öncelikli olarak mevcut sistem Arena simülasyon yöntemi ile doğrulanmış ve sonrasında tanımlanan darboğazları ortadan kaldırmak ve aynı zamanda yetersiz kullanılan kaynakların kullanım oranını artırmak amacıyla model beş farklı senaryo ile değerlendirilmiş ve en iyi senaryo seçilmiştir.

Gündoğdu (2019), çalışmasında karışık modellenmiş bir montaj hattı dengeleme problemini ele almış ve montaj hattı dengeleme yöntemi ile simülasyon yöntemini kullanarak montaj hattının performansının artırılması üzerine çalışmıştır. Çalışmasında dört farklı ankastre modeli ele alınmış ve hat çift taraflı ve tek taraflı olmak üzere dengelenmiştir. Dengeleme işleminde “Konum Ağırlıklı Dengeleme Yöntemi” kullanılmış ve POM for Windows programı ile çözüme ulaşılmıştır. Dengeleme sonuçlarının sınıanabilmesi için Arena simülasyon yöntemi kullanılmıştır. Mevcut durum ile dengeleme sonuçları Arena simülasyon programı ile analiz edilmiş ve sonuç olarak atıl sürelerin azaldığı ve günlük üretim miktarının arttığı gözlemlenmiştir.

5. UYGULAMA

Bu tez kapsamında Denizli ilinde faaliyet gösteren bir konfeksiyon işletmesi için simülasyon modeli oluşturularak mevcut sistemdeki darboğazlar belirlenmiş ve simülasyon-optimizasyon yöntemi ile darboğazları önleyici iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Bu bağlamda ilk olarak çalışma yapılan işletme hakkında bilgiler verilerek mevcut sistem için oluşturulan simülasyon modelinin ayrıntılarına değinilmiştir. Daha sonra sistemin verimliliğinin artırılması ve darboğazların önüne geçilmesi için iş istasyonlarına yapılacak işgücü atamaları belirlenmiştir. Ayrıca mevcut sistem için bir matematiksel model oluşturularak hat dengelemesi yapılmıştır.

5.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışma, Kaynak Tekstil'in fason üreticisi olan Mutlu Tekstil'de gerçekleştirilmiştir. Mutlu Tekstil, Kaynak Tekstil'in yıkamasız chino pantolon üretiminin dikimini ve ip temizleme, ütü ve kalite işlemlerini kapsayan bitim işlerini yapmaktadır. Çalışmada üretim birimi olarak chino pantolon dikim hattı, bitiş işlemlerinin yapıldığı "finish" bölümü ve paket bölümleri seçilmiştir. Söz konusu bölümler konfeksiyon işletmesindeki işgücü gerektiren bölümlerdir. Hatlardaki plansız işgücü ve kaynak yerleşimi, beklemlerin yaşanmasına, ara stokların fazla olmasına, kaynakların boşta beklemesine neden olmakta, bu da beraberinde darboğaz problemini ortaya çıkarmaktadır. Dolayısıyla, bu uygulamanın amacı, bahsi geçen üretim sisteminde, darboğazları tespit etmek, üretilen ürünlerin sistemde kaldıkları ortalama süreyi düşürmek, makinenin veya çalışanın boş kalma süresini düşürerek kapasiteyi artırmak ve üretimi etkin kılmaktır.

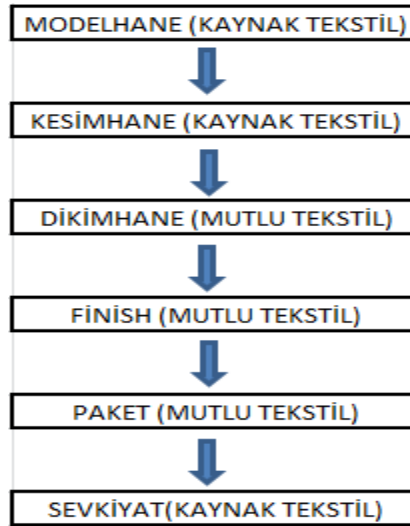
5.2 İşletmenin Tanıtımı

Mutlu Tekstil, 1993 yılında Denizli'de 3 makine ve 2 personel ile kurulmuş bir tekstil firmasıdır. 1993'ten 2008 yılına kadar üretimini %50 hazır giyim, %50

havlu-bornoz şeklinde gerçekleştirmiştir. 2008 yılından itibaren ise Kaynak Tekstil'in fason üreticisi olarak yalnızca hazır giyim dalında faaliyet göstermeye devam etmektedir. Aylık 20.000 adet dikim kapasitesi vardır. Ağırlıklı olarak yıkamasız chino pantolon üretimi yapmaktadır.

Çalışmanın Mutlu Tekstil'de yapılmasının sebebi zaman zaman siparişlerin yetiştirilemiyor olması nedeniyle fazla mesailerin yapılması ve üretim hattında ürün birikimleri nedeniyle oluşan darboğazlardır.

İşletmede sadece dikim hattı, bitiş işlemlerinin yapıldığı 'finish' bölümü ve paketleme bölümü vardır. Fakat iş akışı incelenirken üretim süreci siparişin alındığı ilk aşamadan başlayarak incelenmiştir. Siparişi alınan modellerin öncelikle Kaynak Tekstil'in modelhanesinde örnek dikimi yapılır. Örnek dikim müşteri tarafından onaylanırsa üretime geçilir. Ürünün pastal planı ve kesimi Kaynak Tekstilde yapılır. Kesilen ürünler Mutlu Tekstile sevk edilir. Kesilmiş olan ürünler ilgili dikim bandına gönderilir. Dikilen ürünler ip temizleme, ütü, kalite kontrol ve paketlemesi yapılmak üzere finish bölümüne gönderilir. Paketlemesi yapılan ürünler tekrar Kaynak tekstile gönderilerek sevkiyata hazır hale getirilir. Şekil 5.1'de belirtilen sürece ait iş akışı gösterilmiştir.

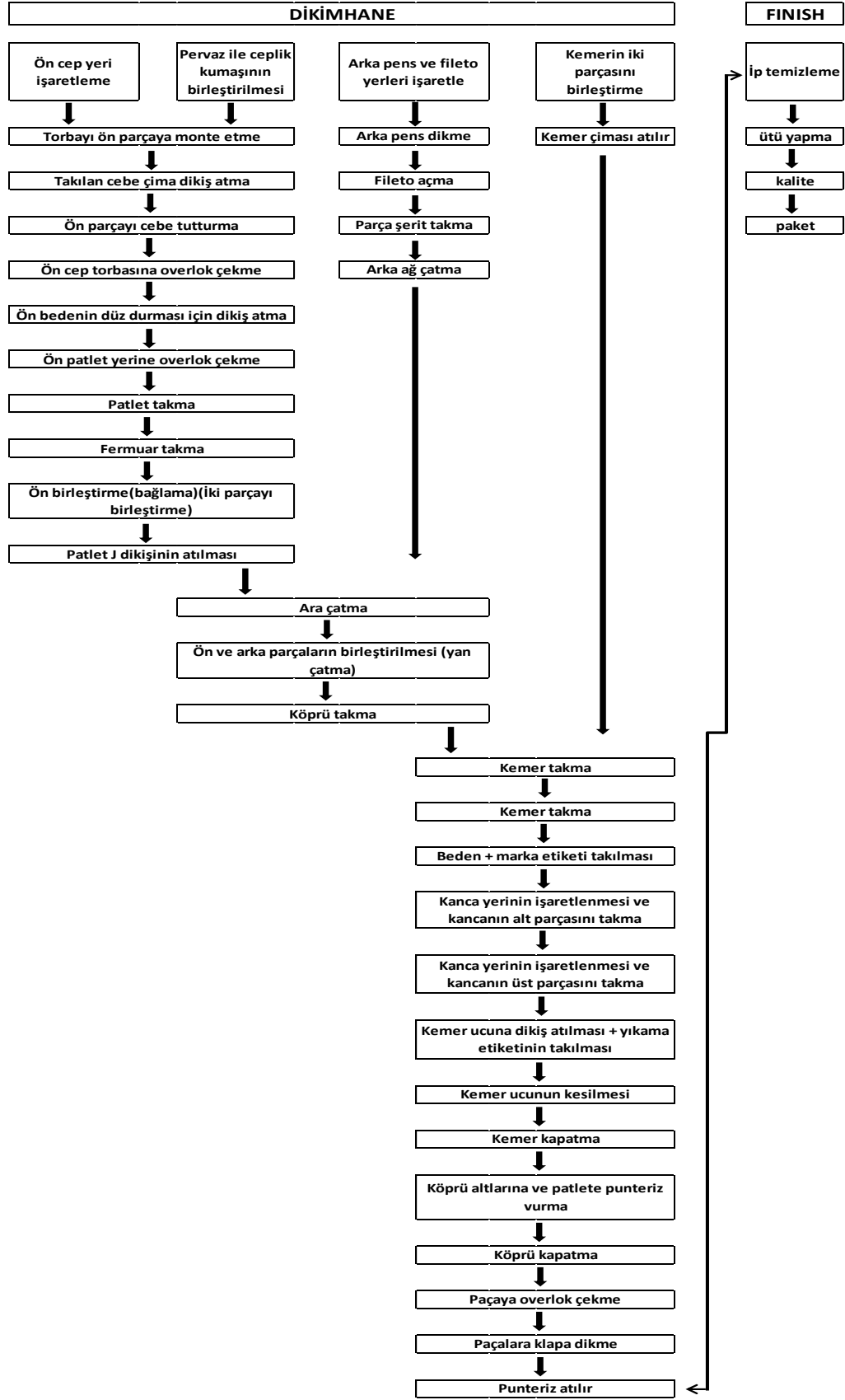


Şekil 5.1: İş akış şeması

5.3 Mevcut Süreç Akışı

Dikim üniteleri ön, arka ve montaj bölümü olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Dikilecek olan pantolonun ön kısmı ve arka kısmı sırasıyla ön ve arka bölümlerde gerçekleştirilmektedir. Montaj bölümünde ise pantolonun hazırlanmış olan ön ve arka kısımlarının montajı yapılmaktadır. Dikim işlemi biten pantolon öncelikle bitiş işlemlerinin yapıldığı finish bölümüne gönderilir ve burada ilk olarak ip temizleme işleminden geçer. Daha sonra ütülenerken kalite kontrolünün yapılması amacıyla kalite kontrol masalarına gönderilir. Son olarak paketlenmesi için paket bölümüne ve oradan da sevkiyat için Kaynak Tekstil'e gönderilir. Chino pantolonun paketleninceye kadar geçirdiği işlem süreci Şekil 5.2'de gösterilmiştir.

Şekil 5.2'ye göre ön bedende ön cep yeri işaretleme, pervaz ile ceplik kumaşının birleştirilmesi, torbayı ön parçaya monte etme, takılan cebe çima dikiş atma, ön parçayı cebe tutturma, ön cep torbasına overlok çekme, ön beden düz durması için dikiş atma, ön patlet yerine overlok çekme, patlet takma, fermuar takma, ön birleştirme, patlet J dikişin atılması işlemleri gerçekleştirilmektedir. Arka bedende arka pens ve fileto yerlerinin işaretlenmesi, arka pens dikim, fileto açma, parça şerit takma, arka ağ çatma işlemleri yapılmaktadır. Kemer bölümünde kemerin iki parçasını birleştirme, kemer çiması atma işleri gerçekleştirilmektedir. Ön ve arka beden birleştirilmesi sırasında, ara çatma, yan çatma, köprü takma, kemer takma, beden ve marka etiketi takılması, kanca yerinin işaretlenmesi alt ve üst parçasının takılması, kemer ucuna dikiş atılması ve yıkama etiketinin takılması, kemer ucunun kesilmesi, kemer kapatma, punteriz vurma, köprü kapatma, paçaya overlok çekme, klapa dikme, punteriz atma işlemleri gerçekleştirilmektedir. Finish bölümünde iplik temizleme, ütü ve kalite işlemleri gerçekleştirilmektedir. Paketleme bölümünde de ürünün paketleme işlemi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 5.2: Chino pantolon işlem süreci

Pantolonu oluşturan parçalar şu şekilde sıralanabilir:

Ön Beden: Pantolonun ön kısmını oluşturan bitmiş ürünün en büyük parçalarından biridir. Sağ ve sol ön olmak üzere iki adettir.

Arka Beden: Ön bedenden biraz daha geniş, pantolonun arka bölümünde sağ ve solda olmak üzere iki adettir.

Kemer: Tek parça olmak üzere pantolonun bel kısmına takılır.

Köprü: Kemer dikildikten sonra kemer üzerine dikilen küçük parçalardır.

Cep Karşılığı: Bitmiş haldeki pantolonda, ön ceplerin açıklığından cep torbasının görülmesini önlemek amacıyla kullanılan parçasıdır. Sağ ve sol olmak üzere iki adettir.

Cep Torbası: Pantolonu meydana getiren parçalar içerisinde kumaş olmayan tek parçadır. Ceplik kumaşından yapılır, ön sağ ve solda olmak üzere iki adettir.

Patlet: Fermuarın ya da düğmenin olduğu kısımdır. Alt ve üst patlet olmak üzere iki farklı parçadan oluşur.

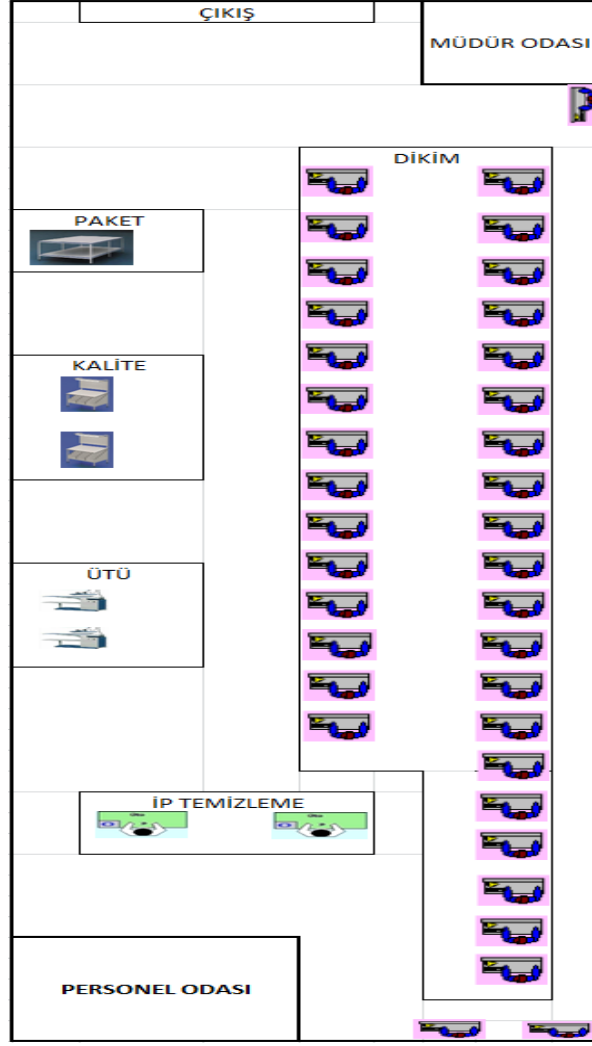
Yan Şerit: Ön ve arka bedenin ortasında kalan iki yanda bulunan parçasıdır.

Fleto: Arka cep ağzına dikilen parçadır.

Cep Pervazı: Yan cep torbasının ağzını temizlemek için kullanılır. Cepliğin görünmemesini sağlar.

5.4 Mevcut Yerleşim Planı

İşletmedeki mevcut durum için simülasyon modeli oluşturulmadan önce fabrika yerleşim planı incelenmiştir. Şekil 5.3 fabrika yerleşim planını göstermektedir.



Şekil 5.3: Fabrika yerleşim planı

Dikimhane bölümü, aktif olarak çalışan 34 makineden oluşmaktadır. 12 makine ön beden parçaların dikimini, 2 makine ön ve arka beden için gerekli parçaların dikimini, 5 makine arka beden dikimini, 15 makine ön ve arka bedenlerin montajını yapmaktadır. 2 düz makine, 1 overlok makinesi olmak üzere 3 makine ise boşta beklemektedir. Finish bölümünde ise, 2 kişi ip temizliği, 1 kişi ütü, 1 kişi kalite ve 2 kişi de paketleme işlemini yapmaktadır.

Şekil 5.3'e göre bölümler arasındaki iş akışı şu şekilde gerçekleşmektedir. Kaynak Tekstil'de kesilen ürünler tekstil arabaları ile Mutlu Tekstil dikim bandına getirilir. Bantlarda ürün dikimi gerçekleştirildikten sonra bu ürünler bir çalışan yardımı ile (ayakçı 1) ip temizleme bölümüne götürülür. İp temizliği yapılan ürünler yine aynı çalışan ile (ayakçı 1) ütü bölümüne, orada ütüsü yapılan ürünler bir başka çalışan yardımı ile (ayakçı 2) kalite kontrol masalarına götürülür. Kalite kontrolü

yapılan ürünler yine aynı çalışan yardımı ile (ayakçı 2) katlanıp poşet içine yerleştirilmesi için paket bölümüne götürülür. Paketi yapılan ürünler sevkiyat için tekrar tekstil arabaları ile Kaynak Tekstil'e gönderilirler.

5.5 Mevcut Sürecin Simülasyon Modeli

Mutlu Tekstil, Kaynak Tekstil'in fason üreticisidir ve Kaynak Tekstil'den aldığı yıkamasız chino pantolon siparişlerinin üretimini gerçekleştirmektedir. Kaynak Tekstil, Mutlu Tekstil'in kendisine yakın olmasından dolayı siparişlerinin büyük bir çoğunluğunu bu işletmeye vermektedir. Özellikle acil siparişlerde zamandan kazanmak amacı ile chino pantolonların üretimi Mutlu Tekstil'de yapılmaktadır. Mutlu Tekstil'in günlük ortalama üretim kapasitesi bellidir. Fakat üst üste gelen siparişler ve acil siparişlerin yetiştirilmeye çalışılması, işletmenin kapasitesinin yetersiz kalması ve bu nedenle fazla mesailerin yapılması işletmenin maliyetini artırmaktadır. Üretim bölümleri gözlemlendiğinde ise üretim hatlarında darboğazların oluştuğu, bazı işçilerin boş kalma zamanlarının oldukça fazla olduğu görülmüştür. Bunun dışında işletme sorumlusu ile görüşülmüş ve hattın etkin çalışmadığına dair bilgiler alınmıştır.

Belirtilen sorunlara bir çözüm bulabilmek amacıyla öncelikle mevcut sistemin simülasyon modelinin kurulmasına ve model aracılığıyla sistemdeki sorunların tespit edilmesi yoluna gidilmiştir. Bu amaçla iş etüdü çalışması yapılarak mevcut süreçte yapılan her bir işin süresi gözlenmiştir. Elde edilen veriler ARENA simülasyon programındaki Input Analyzer yardımı ile analiz edilerek her bir işleme ait sürelerin istatistiksel dağılımı belirlenmiştir. Tablo 5.1 bu sürelerle ait istatistiksel dağılımları göstermektedir.

Tablo 5.1: Operasyonlara ait istatistiksel dağılımlar

OPERASYON ADI	KULLANILAN MAKINE	DAĞILIM	AÇIKLAMA
Arka pens ve fileto yerleri işaretle	Elle	Lognormal	$9.5 + \text{LOGN}(2.16, 1.79)$
Arka pens dikme	Düz makine	Üstel	$10.5 + \text{EXPO}(1.9)$
Fileto açma	Fleto makine	Lognormal	$8.5 + \text{LOGN}(2.16, 1.79)$
Ön cep yeri işaretleme	Elle	Üçgensel (Triangular)	$\text{TRIA}(5.5, 6.2, 7.5)$
Parça şerit takma	Düz makine	Beta	$14.5 + 6 * \text{BETA}(0.824, 0.791)$
Pervaz ile ceplik kumaşının birleştirilmesi	Düz makine	Beta	$7.5 + 3 * \text{BETA}(1.02, 0.591)$
Torbayı ön parçaya monte etme	Düz makine	Beta	$8.5 + 8 * \text{BETA}(0.87, 0.974)$
Takılan cebe çima dikiş atma	Düz makine	Lognormal	$9.5 + \text{LOGN}(2.79, 2.97)$
Ön parçayı cebe tutturma	Düz makine	Üçgensel (Triangular)	$\text{TRIA}(5.5, 11.4, 12.5)$
Ön cep torbasına overlok çekme	Overlok makine	Beta	$5.5 + 3 * \text{BETA}(1.54, 1.96)$
Ön patlet yerine overlok çekme	Overlok makine	Beta	$3.5 + 5 * \text{BETA}(1.28, 0.876)$
Ön beden düz durması için dikiş atma	Düz makine	Weibull	$9.5 + \text{WEIB}(2.58, 1.77)$
Fermuar takma	Çift iğne	Beta	$10.5 + 7 * \text{BETA}(0.949, 1.04)$
Patlet takma	Düz makine	Beta	$17.5 + 4 * \text{BETA}(0.552, 0.747)$
Ön birleştirme(bağlama) (iki parçayı birleştirme)	Düz makine	Normal	$\text{NORM}(29.2, 1.94)$
Patlet J dikişinin atılması	Düz makine	Beta	$6.5 + 9 * \text{BETA}(0.941, 0.545)$
Kemerin iki parçasını birleştirme	Düz makine	Beta	$11.5 + 6 * \text{BETA}(0.717, 0.777)$

OPERASYON ADI	KULLANILAN MAKINE	DAĞILIM	AÇIKLAMA
Arka ağ çatma	Overlok makine	Lognormal	$13.5 + \text{LOGN}(2.89, 3.69)$
Ara çatma	Overlok makine	Beta	$24.5 + 7 * \text{BETA}(0.864, 0.926)$
Ön ve arka parçaların birleştirilmesi (yan çatma)	Overlok makine	Beta	$28.5 + 19 * \text{BETA}(0.48, 0.711)$
Köprü takma	Düz makine	Beta	$19.5 + 17 * \text{BETA}(0.605, 0.728)$
Kemer takma	Düz makine	Beta	$33.5 + 4 * \text{BETA}(0.639, 0.578)$
Beden + marka etiketi takılması	Düz makine	Beta	$18.5 + 10 * \text{BETA}(0.943, 0.794)$
Kanca yerinin işaretlenmesi ve kancanın üst parçasını takma	Çakma makine	Beta	$12.5 + 7 * \text{BETA}(0.905, 1.06)$
Kemer ucuna dikiş atılması + yıkama etiketinin takılması	Düz makine	Üstel Dağılım	$20.5 + \text{EXPO}(1.9)$
Kemer ucunun kesilmesi	Elle	Beta	$2.5 + 3 * \text{BETA}(1.54, 1.96)$
Kemer kapatma	Düz makine	Beta	$27.5 + 8 * \text{BETA}(0.659, 0.693)$
Kanca yerinin işaretlenmesi ve kancanın alt parçasını takma	Çakma makine	Beta	$3.5 + 21 * \text{BETA}(0.239, 0.3)$
Köprü altlarına ve patlete punteriz vurma	Punteriz	Lognormal	$22.5 + \text{LOGN}(4.48, 8.69)$
Köprü kapatma	Düz makine	Üstel Dağılım	$22.5 + \text{EXPO}(2.1)$
Paçaya overlok çekme	Overlok makine	Beta	$15.5 + 9 * \text{BETA}(0.584, 0.698)$
Paçalara klapa dikme	Klapa makine	Lognormal	$26.5 + \text{LOGN}(2.53, 2.53)$
Punteriz atılır	Punteriz	Lognormal	$24.5 + \text{LOGN}(3.91, 6.73)$

OPERASYON ADI	KULLANILAN MAKİNE	DAĞILIM	AÇIKLAMA
İp temizleme	Elle	Beta	33.5 + 14 * BETA(0.514, 0.375)
Ütü yapma	Ütü makinesi	Üçgensel (Triangula)	TRIA (25.5, 32, 38.5)
Kalite	Elle	Üçgensel (Triangula)	TRIA (24.5, 30.14, 34.5)
Paket	Elle	Üçgensel (Triangula)	TRIA (29.5, 36.18, 40.5)

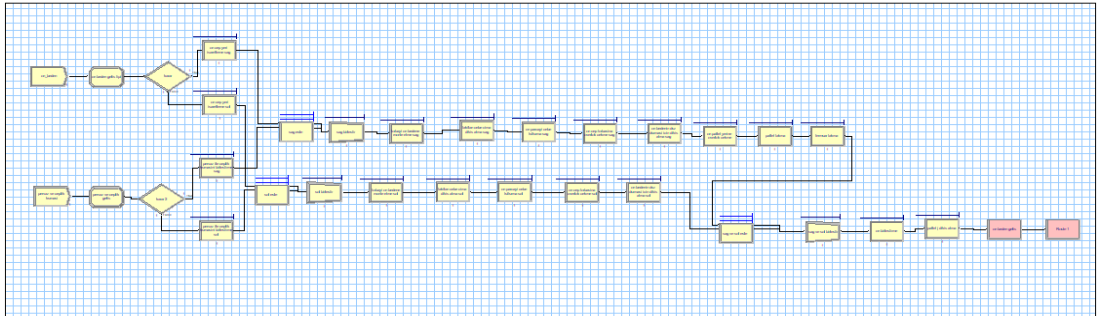
Tablo 5.2’de ise bölümlerde bulunan makine ve çalışan sayıları gösterilmiştir.

Tablo 5.2: Bölümlerdeki makine ve çalışan sayısı

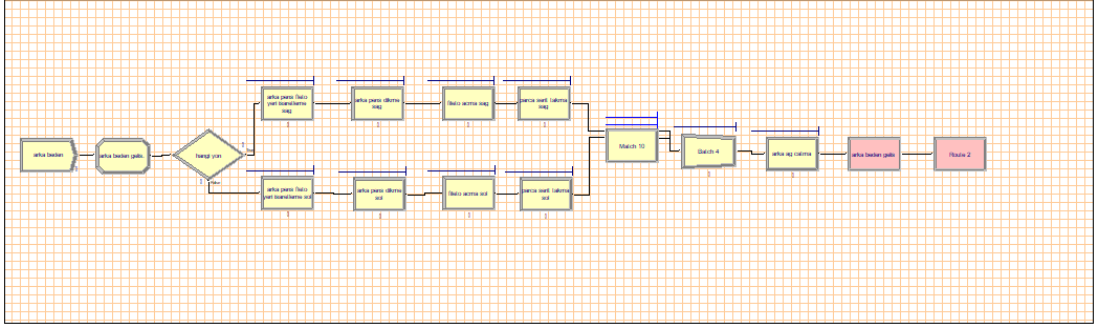
BÖLÜM	İNSAN KAYNAKLARI	MAKİNE
Dikimhane	34+1 (ayakçı)	37
İp Temizleme	2+1 (ayakçı)	-
Ütü Bölümü	1	2
Kalite	1+1 (ayakçı)	-
Paket	2	-

Tablo 5.2’de ayakçı olarak verilen çalışanlar ürünlerin taşınmasında, makine çevresi temizlik işlerinde kullanılmaktadır. Çalışmada ayakçılar dikkate alınmamıştır.

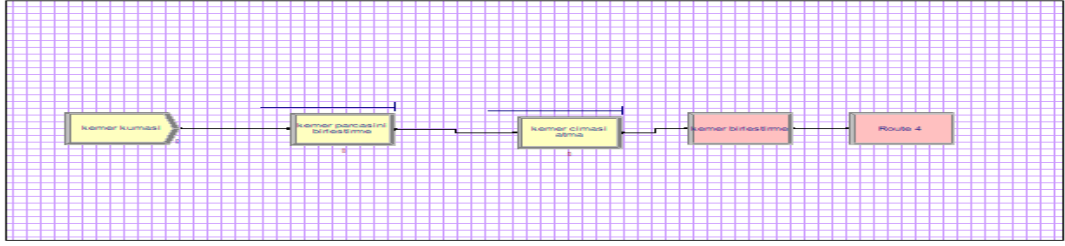
Bu bilgiler kullanılarak mevcut sistem ARENA 13.5 simülasyon programı kullanılarak modellenmiştir. Şekil 5.4-5.11 her bölümdeki iş akışının simülasyon modeli ayrı ayrı verilmiştir. Şekil 5.12’de ise modelin genel görünümü verilmektedir.



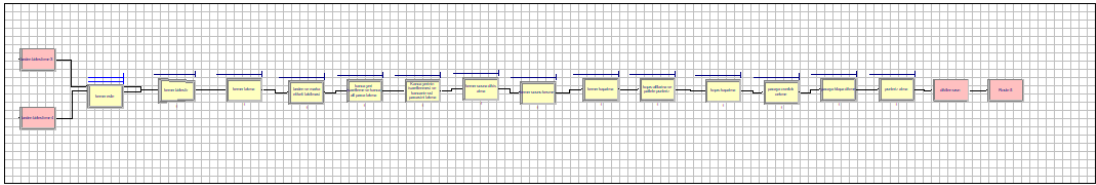
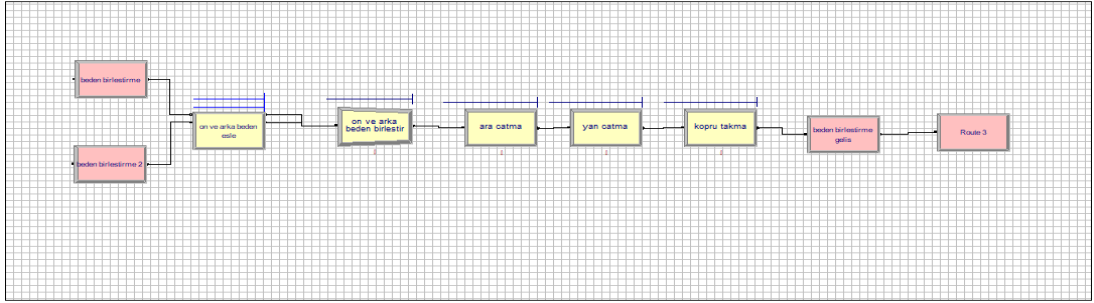
Şekil 5.4: Ön Beden Parçalarının Dikim Operasyonları



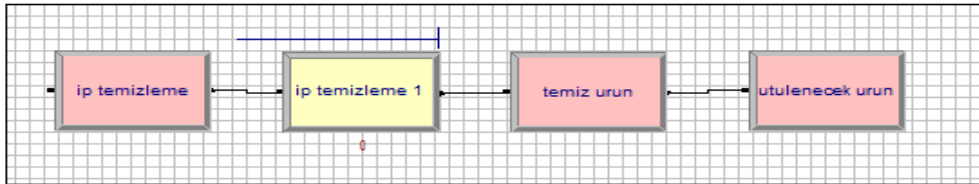
Şekil 5.5: Arka Beden Parçalarının Dikim Operasyonları



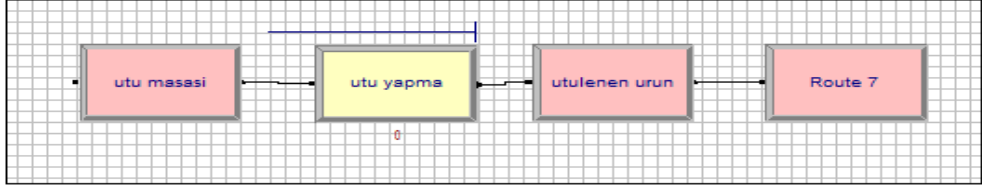
Şekil 5.6: Ön ve Arka Beden İçin Gerekli Parçaların Dikimi



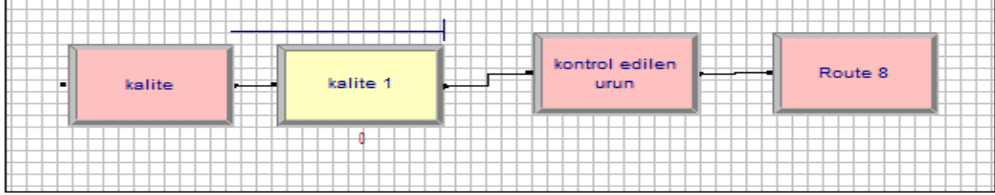
Şekil 5.7: Ön ve Arka Parçaların Montajı



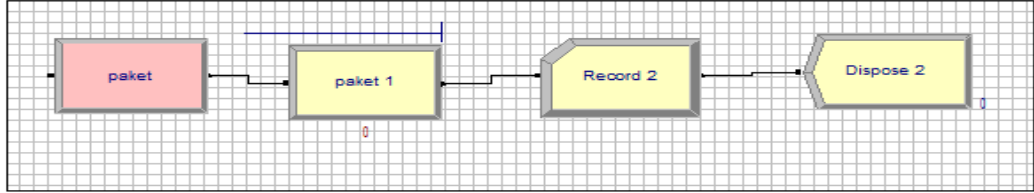
Şekil 5.8: İp Temizleme



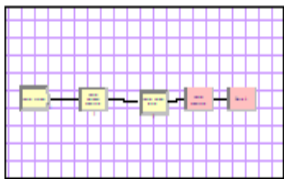
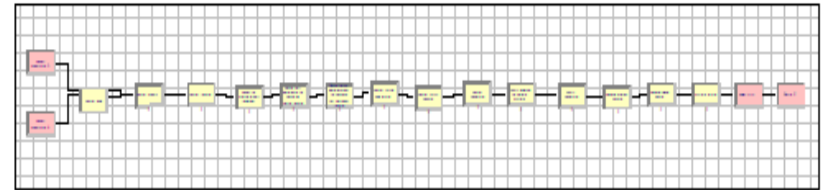
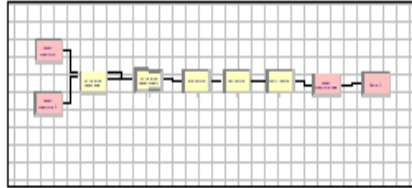
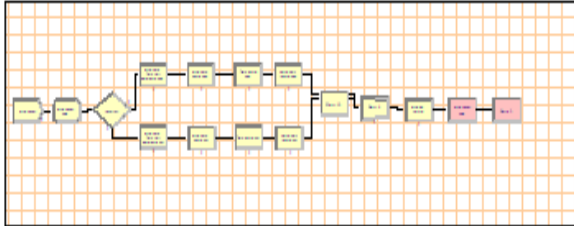
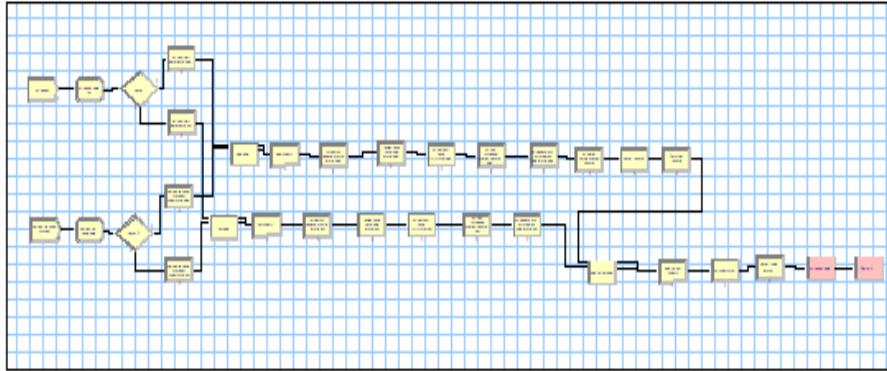
Şekil 5.9: Ütü Bölümü



Şekil 5.10: Kalite Bölümü



Şekil 5.11: Paket Bölümü



Şekil 5.12: Genel simülasyon modeli

Simülasyon süresi işletmedeki çalışma saatleri dikkate alınarak 9 saat olarak belirlenmiştir. Bir çalışma gününde üretilen ürün miktarı mevcut simülasyon modeli ile bulunmuş ve bu değer modelin doğruluğunu test etmek için gerçekleşen üretim miktarları ile karşılaştırılmıştır.

Simülasyon modeli ARENA Process Analyzer aracı yardımı ile farklı replikasyon sayılarında çalıştırılmıştır. Şekil 5.13'te görüldüğü gibi 30 replikasyondan sonra çıktı değerlerinin değişmediği görülmüş ve bu nedenle model 30 replikasyonda çalıştırılmıştır.

	Scenario Properties			Control	Response	
	S	Name	Program File	Reps	Num Reps	System.NumberOut
1		Scenario 1	1866 : mutlu t	1	1	860.000
2		Scenario 2	1866 : mutlu t	5	5	861.200
3		Scenario 3	1866 : mutlu t	10	10	865.900
4		Scenario 4	1866 : mutlu t	15	15	866.000
5		Scenario 5	1866 : mutlu t	20	20	865.700
6		Scenario 6	1866 : mutlu t	30	30	863.800
7		Scenario 7	1866 : mutlu t	40	40	863.925
8		Scenario 8	1866 : mutlu t	50	50	863.260

Şekil 5.13: Replikasyon sayılarına göre çıktı miktarı

Simülasyon 1 gün ve 9 saatlik çalışma süresi için tekrar sayısı 30 olacak şekilde çalıştırılmıştır. Şekil 5.13'ten de görüleceği gibi mevcut durumda üretilen ortalama ürün sayısı 863 adettir.

Modelin geçerliliğini göstermek amacıyla *t*-testi yapılmıştır. Bu amaçla işletmeden alınan 12 günlük üretim adedi ile simülasyondan elde edilen çıktı miktarları karşılaştırılmıştır. Tablo 5.3'te 12 günlük gerçek veriler ve simülasyon modelinin çıktıları görülmektedir.

Tablo 5.3: 12 günlük gerçek veri ve Arena çıktısı

Gün	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Arena Çıktısı	860	861	862	861	861	863	864	865	864	865	867	867
Gerçek Veri	865	855	853	865	848	860	866	850	868	870	855	852

Gerçekleşen üretim miktarları ile simülasyon modelinin ürettiği çıktı miktarları arasında anlamlı bir fark olup olmadığını belirlemek için aşağıdaki hipotez %95 güven düzeyinde test edilmiştir.

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

Hipotez testi için Minitab programı kullanılmıştır. Şekil 5.14'te görüleceği üzere 0.078 p -değeri H_0 hipotezinin reddedilemeyeceğini göstermektedir. Yani gerçekleşen üretim miktarları ile simülasyondan elde edilen çıktı miktarları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır. Hipotez testi kurulan simülasyon modelinin geçerliliğini göstermektedir.

Two-Sample T-Test and CI: Arena çıktısı; Gerçek veri

μ_1 : mean of Arena çıktısı
 μ_2 : mean of Gerçek veri
Difference: $\mu_1 - \mu_2$

Equal variances are not assumed for this analysis.

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
Arena çıktısı	12	863,33	2,39	0,69
Gerçek veri	12	858,92	7,65	2,2

Estimation for Difference

95% CI for	
Difference	Difference
4,42	(-0,58; 9,41)

Test

Null hypothesis	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$	
Alternative hypothesis	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$	
T-Value	DF	P-Value
1,91	13	0,078

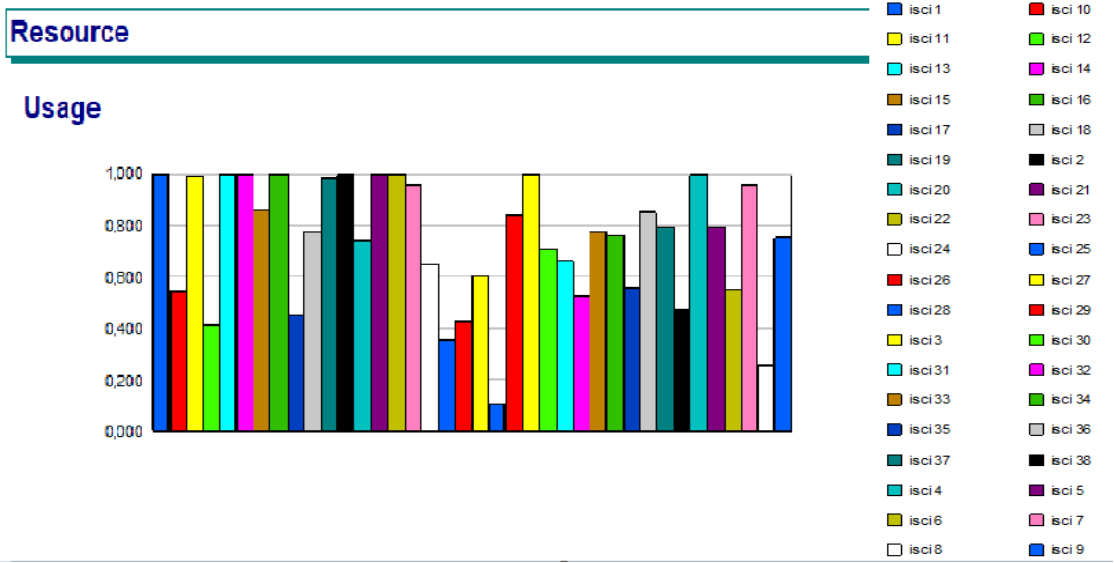
Şekil 5.14: t -testi sonuçları

Simülasyon modelinin geçerliliği yapılan hipotez testi ile kanıtlandıktan sonra mevcut sistemle ilgili analizleri gerçekleştirmek üzere simülasyon modeli çalıştırılarak kuyrukta bekleyen ortalama iş sayısı ve işgücü kapasite kullanım oranları kaydedilmiştir (Tablo 5.4).

Tablo 5.4: Mevcut durumda kuyrukta bekleyen ortalama iş sayıları ve işgücü kapasite kullanım oranları

İSTASYON	GÖREV	ÇALIŞAN	KAPASİTE	KUYRUKTA BEKLEYEN ORTALAMA İŞ SAYISI	İŞGÜCÜ KAPASİTE KULLANIM ORANI
1	Arka pens ve fileto yerleri işaretle (sağ)	işçi 13	1	4	0.99
	Arka pens ve fileto yerleri işaretle (sol)			4	
2	Arka pens dikme (sağ)	işçi 14	1	38	0.99
	Arka pens dikme (sol)			38	
3	Fileto açma (sağ)	işçi 15	1	0	0.85
	Fileto açma (sol)			0	
4	Ön cep yeri işaretleme (sağ)	işçi 1	1	1	0.99
	Ön cep yeri işaretleme (sol)			1	
5	Parça şerit takma (sağ)	işçi 16	1	186	0.99
	Parça şerit takma (sol)			194	
6	Pervaz ile ceplik kumaşının birleştirilmesi (sağ)	işçi 2	1	1	0.99
	Pervaz ile ceplik kumaşının birleştirilmesi (sol)			1	
7	Torbayı ön parçaya monte etme (sağ)	işçi 3	1	202	0.99
	Torbayı ön parçaya monte etme (sol)			205	
8	Takılan cebe çima dikiş atma (sağ)	işçi 4	1	2	0.99
	Takılan cebe çima dikiş atma (sol)			2	
9	Ön parçayı cebe tutturma (sağ)	işçi 5	1	0	0.79
	Ön parçayı cebe tutturma (sol)			0	
10	Ön cep torbasına overlok çekme (sağ)	işçi 6	1	0	0.55
	Ön cep torbasına overlok çekme (sol)			0	
11	Ön beden düz durması için dikiş atma (sağ)	işçi 7	1	0	0.95
	Ön beden düz durması için dikiş atma (sol)			0	
12	Ön patlet yerine overlok çekme	işçi 8	1	0	0.25
13	Patlet takma	işçi 9	1	0	0.75
14	Fermuar takma	işçi 10	1	0	0.54
15	Ön birleştirme(bağlama)(İki parçayı birleştirme)	işçi 11	1	80	0.99
16	Patlet J dikişinin atılması	işçi 12	1	0	0.41
17	Kemerin iki parçasını birleştirme	işçi 21	1	3	0.99
18	Kemer çıması atılır	işçi 22	1	20	0.99

İSTASYON	GÖREV	ÇALIŞAN	KAPASİTE	KUYRUKTA BEKLEYEN ORTALAM A İŞ SAYISI	İŞGÜCÜ KAPASİTE KULLANIM ORANI
19	Arka ağ çatma	işçi 17	1	0	0.45
20	Ara çatma	işçi 18	1	0	0.77
21	Ön ve arka parçaların birleştirilmesi (yan çatma)	işçi 19	1	11	0.98
22	Köprü takma	işçi 20	1	0	0.74
23	Kemer takma	işçi 23	1	0	0.95
24	Beden + marka etiketi takılması	işçi 24	1	0	0.65
25	Kanca yerinin işaretlenmesi ve kancanın alt parçasını takma	işçi 25	1	0	0.36
26	Kanca yerinin işaretlenmesi ve kancanın üst parçasını takma	işçi 26	1	0	0.43
27	Kemer ucuna dikiş atılması + yıkama etiketinin takılması	işçi 27	1	0	0.60
28	Kemer ucunun kesilmesi	işçi 28	1	0	0.10
29	Kemer kapatma	işçi 29	1	0	0.83
30	Köprü altlarına ve patlete punteriz vurma	işçi 30	1	0	0.71
31	Köprü kapatma	işçi 31	1	0	0.65
32	Paçaya overlok çekme	işçi 32	1	0	0.52
33	Paçalara klapa dikme	işçi 33	1	0	0.77
34	Punteriz atılır	işçi 34	1	0	0.75
35	İp temizleme	işçi 35	2	0	0.55
36	Ütü yapma	işçi 36	1	0	0.85
37	Kalite	işçi 37	1	0	0.79
38	Paket	işçi 38	2	0	0.47



Şekil 5.15: İşgücü kapasite kullanım oranları

Simülasyon sonucuna göre bir günde 863 adet ürünün üretildiği görülmüştür. Üretim sırasında parça şerit takma, torbayı ön parçaya monte etme ve ön birleştirme görevlerinde yığılmaların olduğu yani darboğazların olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum bir sonraki işi yapan çalışanın verimliliğini ve çıktı miktarını etkilemektedir. Tablo 5.4'e baktığımızda İşçi 12, işçi 17, işçi 25, işçi 26, işçi 28, işçi 38 ve işçi 8'in kapasite kullanım oranlarının %50 nin altında olduğu görülmüştür. Bu da bir işçinin 9 saatlik çalışma süresi içerisinde günün yarısından fazlasını boş geçirdiğini göstermektedir.

Bu çalışmadaki amaç, ürün yığılmalarını minimum seviyeye indirmek, bitmiş ürün sayısını (çıktı miktarını) ve işgücü kapasite kullanım oranını maksimum seviyeye çıkarmaktır. Bu nedenle ARENA programının içinde bir optimizasyon aracı olan OptQuest yardımı ile belirtilen amaçları gerçekleştirmek üzere işgücü ataması yapılmıştır.

5.6 OptQuest ile İşgücü Ataması

OptQuest, simülasyon modellerinde en uygun çözümü aramaya yardımcı olan ve Arena simülasyon programının bir modülü olan bir optimizasyon programıdır. OptQuest'te girdilerin değerleri değiştirilerek optimum sonuca ulaşılmaya çalışılır. OptQuest programında, kontroller, yanıtlar, amaçlar, kısıtlar, önerilen çözümler ve seçenekler bölümü bulunmaktadır. Bu sayede modelin amaç ve kısıtların

tanımlaması yapılabilir ve optimizasyon çözümlerine ulaşılabilir (USER GUIDE OptQuest for Arena, 2010).

OptQuest, meta-sezgisel yöntemleri kullanır. Bu yöntemler sayesinde simülasyon modelindeki en iyi çözüm araştırılır. Optimizasyon en iyi çıktı değerini elde edebilmek için sisteme giren değerleri kullanır. Yeni değerlendirmeleri önceki değerlendirmeler ile karşılaştırarak sonraki değerlendirme için yeni girdi değerleri seçer. Zamanla en iyi çözüme ulaşır (USER GUIDE OptQuest for Arena, 2010).

OptQuest, üç arama yöntemini kullanır. Bunlar serpilme arama (SS), tabu arama (TS) ve yapay sinir ağlarıdır (ANN). SS, bir başlangıç değeri çözüm kümesi oluşturur. Daha sonra bir alt değerlerin kümesini oluşturmak amacı ile sezgisel süreçler uygulanır. Algoritmalar, alt kümenin doğrusal kombinasyonunu oluşturur ve yeni noktalar oluşturur. Bu yeni noktalar bir sonraki adımda başlangıç değerleri kabul edilerek önceki adımlar tekrar edilir. TS, değerlendirmesi yapılan değerlerin tekrar işleme alınmasını engeller. ANN ise simülasyon un zayıf olan çözümlerini tespit eder ve onları değerlendirme işlemi süreci içerisine almaz. Bu durum optimizasyon hızını artırır (Eskandari ve diğ. 2011).

OptQuest'te değişken veya kaynak sayısı programın performansını etkilemektedir. Değişken veya kaynak sayısı arttıkça, yüksek kaliteli çözümler üretebilmek amacı ile simülasyon sayısı da artmaktadır. Değişken veya kaynak sayısında bir sınırlama yoktur fakat 100'den fazla değişken değeri kullanılırsa performans düşebilmektedir. Değişken veya kaynak sayılarına göre simülasyon sayısı Tablo 5.5'te gösterilmektedir (USER GUIDE OptQuest for Arena, 2010).

Tablo 5.5: Değişken veya kaynak sayısına göre minimum simülasyon sayısı (USER GUIDE OptQuest for Arena, 2010).

Değişken veya Kaynak	Minimum simülasyon sayısı
10'dan küçük	100
10-20 arası	500
20-50 arası	2000
50-100 arası	5000

Bu çalışmada temel amaç darboğazları gidermek ve üretim miktarını maksimum yapmaktır. Bu amaçla, OptQuest yardımı ile işçilerin işlere en iyi şekilde ataması yapılarak işgücü kapasite kullanım oranları mümkün olduğunca aynı seviyede tutulmaya çalışılmıştır. İncelenen konfeksiyon atölyesinde bir işçi birden fazla iş elemanını gerçekleştirebilmektedir. Dolayısıyla birden fazla iş istasyonuna atanabilmektedir. Atama yapılırken işçilerin eş özellikte olduğu varsayılır.

Mevcut problem OptQuest yardımı ile farklı senaryolara göre çözülmüştür.

1. Senaryo:

Çalışma yapılan konfeksiyonda her bir iş elemanı birer istasyonda bulunur. Yani toplamda 38 iş elemanına sahip olan işletmede 38 istasyon bulunmaktadır. Bir istasyona birden fazla işçi atandığında o istasyona paralel istasyon açılacak anlamına gelmektedir. Bu olasılıklara göre matematiksel model şu şekilde yazılabilir.

Değişkenler:

X_i = i . istasyonda çalışan kişi sayısı,

Z = Bitmiş ürün sayısı

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Maks } Z \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$1 \leq X_i \leq 4 \quad i = 1, 2, \dots, 38. \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{34} X_i \leq 41 \quad (3)$$

$$X_{36} \leq 2 \quad (4)$$

$$X_i > 0 \quad i = 1, 2, \dots, 38. \quad (5)$$

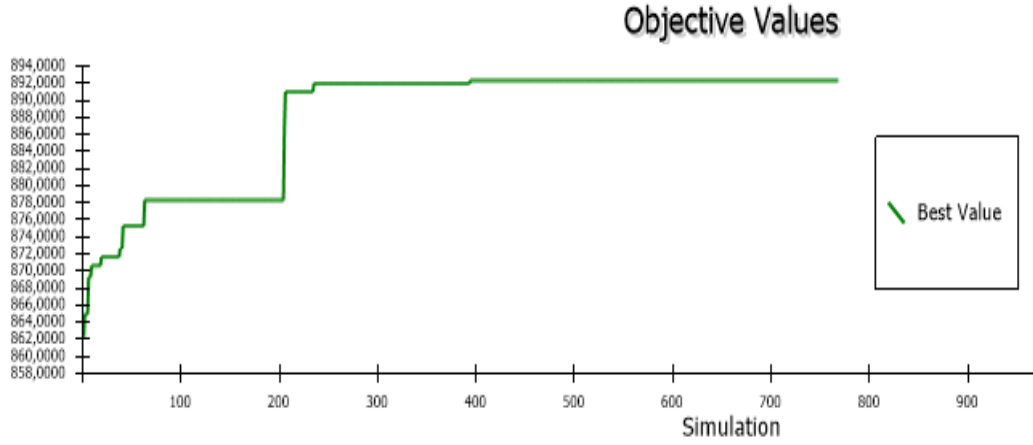
Matematiksel modelde, amaç fonksiyonu (1) bitmiş ürün sayısını maksimize etmeyi amaçlar. Kısıt (2) i . istasyonda çalışabilecek kişi sayısının en az 1 en fazla 4 olabileceğini (4 sınırı konulmasının sebebi; konfeksiyonlarda genel olarak bir iş için

en fazla 3 kişi çalıştırılmaktadır. Fakat bu 3 kişinin gerçekten yeterli olup olmadığı bilinmemektedir. Bu çalışmada üçten fazla işçi atayarak hem 3 işçinin gerçekten yeterli olup olmadığı görülecek hem de maksimum çıktı (ürün) elde etmek için, her bir istasyonda kaç tane eleman çalıştırılması gerektiği (yani bu istasyona paralel kaç tane istasyon açılması gerektiği) gözlemlenecektir, kısıt (3) 34.istasyona kadar toplamda 41 kişinin çalışabileceğini (ayakçılar dikkate alınmamıştır), kısıt (4) 36. istasyonda yani ütü görevinde en fazla 2 kişinin çalışabileceğini göstermektedir. 5. kısıt ise istasyonda çalışan kişi sayısının sıfırdan büyük olması gerektiğini göstermektedir.

Bu kısıtlar ve amaç doğrultusunda OptQuest çalıştırılmıştır. Yaklaşık 716 simülasyon ve 3'er replikasyon ile elde edilen 2148 deneme sonucunda, Tablo 5.6'da verilen değerler optimal kaynak olarak atanmıştır. Şekil 5.16'da ise OptQuest'in en iyi çözüme kaç tekrarda ulaştığını gösteren grafik sunulmuştur.

Tablo 5.6: 1.Senaryo sonuçları

İSTASYON	GÖREV	ÇALIŞAN	KAPASİTE (MEVCUT DURUM)	KAPASİTE (OPTQUEST)	İŞGÜCÜ KAPASİTE KULLANIM ORANI (OPTQUEST)
5	Parça şerit takma (sağ)	işçi 16	1	2	70%
	Parça şerit takma (sol)				
11	Ön beden düz durması için dikiş atma (sağ)	işçi 7	1	2	47%
	Ön beden düz durması için dikiş atma (sol)				
21	Ön ve arka parçaların birleştirilmesi (yan çatma)	işçi 19	1	4	30%
25	Kanca yerinin işaretlenmesi ve kancanın alt parçasını takma	işçi 25	1	2	18%
33	Paçalara klapa dikme	işçi 33	1	2	40%
35	İp temizleme	işçi 35	2	4	28%
36	Ütü yapma	işçi 36	1	2	44%
37	Kalite	işçi 37	1	4	20%
38	Paket	işçi 38	2	4	24%



Şekil 5.16: OptQuest ile elde edilen en iyi sonuç

Tablo 5.6’da görüldüğü gibi Optquest sonucuna göre işçi 16, işçi 7, işçi 25, işçi 33 ve işçi 36’nın bulunduğu istasyonun kapasitesi 2 katına çıkarılmalıdır. Yani bu işçilerin yaptığı görevler için birer paralel istasyon daha açılmalıdır. Yine tabloya bakıldığında İşçi 19, işçi 35, işçi 37 ve işçi 38’in bulunduğu istasyonun kapasitesi ise 4 katına çıkarılmalıdır. Yine bu görevler içinde paralel istasyon açılması gerektiği anlamına gelmektedir. Bu sonuçlara göre çalışanların kapasite kullanım oranlarına baktığımızda kabul edilemez seviyelere düştüğü görülmektedir. Tablo 5.6’da görüldüğü gibi işçi 19’un bulunduğu istasyonun kapasitesini 4’e çıkarmak yani yan çatma görevi için 3 işçi daha atamak bu işçilerin boşa düşmesine sebep olacaktır. Yan çatma görevi için toplamda 2 işçinin çalışması yeterli olacaktır. Diğer işçiler içinde aynı şekilde yorum yapılması gerekmektedir.

Tablo 5.7: Mevcut durum ve simülasyon sonucunda elde edilen işgücü kapasite kullanım oranlarının karşılaştırılması

Çalışan	Kapasite Kullanım Oranları	
	Mevcut Durum	OptQuest ile elde edilen
İşçi 16	99%	70%
İşçi 19	98%	30%
İşçi 25	35%	18%
İşçi 33	77%	40%
İşçi 35	55%	28%
İşçi 36	85%	44%
İşçi 37	79%	20%
İşçi 38	47%	24%
İşçi 7	95%	47%

Tablo 5.7’de mevcut sistemin işgücü kapasite kullanım oranı ve OptQuest ile elde edilen işgücü kapasite kullanım oranları verilmiştir. Programın bu şekilde sonuçlanmasının sebebi işgücü kapasite kullanım oranı kısıtı konulamamasıdır. Bu kısıt ilave edilerek simülasyon çalıştırıldığında feasible sonuçlar elde edilememektedir. Bu nedenle OptQuest’te kısıt (2) nin üst sınır değerleri değiştirilerek kapasite kullanım oranı ve kuyruk sayıları da dikkate alınarak işçi atamaları yapılmıştır.

Tablo 5.8’de OptQuest ile yapılan optimizasyon sonucunda elde edilen kapasite sayısı, işgücü kapasite kullanım oranı ve ortalama kuyruk sayısı verilmiştir. Bu sonuçlara göre işçi 11, işçi 16, işçi 19, işçi 23, işçi 29, işçi 3, işçi 35, işçi 36, işçi 38 ve işçi 4’ün bulunduğu istasyonun kapasitesi ikiye çıkarılmalıdır. Yani bu işçilerin yaptığı görevler için birer paralel istasyon daha açılmalıdır. Bu atamalar sonucunda elde edilecek çıktı miktarı 1064 adettir. Optimizasyon sonucuna göre, istasyon kapasitesini artırmak çıktı miktarını etkilemiştir fakat ön beden düz durması için dikiş atma ve ara çatma görevleri sırasında yine bir kuyruk oluşumu gerçekleşmiştir. İşgücü kapasite kullanım oranlarına bakıldığında ise mevcut durumda düşük kapasite kullanım oranına sahip işçi 25, işçi 28 ve işçi 8’in optimizasyon sonucunda da %50’nin altında bir kapasite kullanım oranına sahip olduğu görülmüştür. Sonuçlara göre 8 yeni işçiye ihtiyaç vardır. Bu da 8 yeni istasyonun açılacağı sonucunu vermektedir. Toplamda 46 istasyon ile çalışma sağlanacaktır.

Tablo 5.8: 1. Senaryo ile elde edilen en iyi atama sonuçları

İSTASYON	GÖREV	ÇALIŞAN	KAPASİTE (MEVCUT DURUM)	KAPASİTE (OPTQUEST)	İŞGÜCÜ KAPASİTE KULLANIM ORANI (OPTQUEST)	KUYRUKTA BEKLEYEN ORTALAMA İŞ SAYISI (OPTQUEST)
1	Arka pens ve fileto yerleri işaretlerle (sağ-sol)	işçi 13	1	1	0.99	4
2	Arka pens dikme (sağ-sol)	işçi 14	1	1	0.99	40
3	Fileto açma (sağ-sol)	işçi 15	1	1	0.85	0
4	Ön cep yeri işaretleme (sağ-sol)	işçi 1	1	1	0.99	2
5	Parça şerit takma (sağ-sol)	işçi 16	1	2	0.71	0
6	Pervaz ile ceplik kumaşının birleştirilmesi (sağ-sol)	işçi 2	1	1	0.99	2
7	Torbayı ön parçaya monte etme (sağ-sol)	işçi 3	1	2	0.65	0
8	Takılan cebe çima dikiş atma (sağ-sol)	işçi 4	1	2	0.27	0
9	Ön parçayı cebe tutturma (sağ-sol)	işçi 5	1	1	0.99	32
10	Ön cep torbasına overlok çekme (sağ-sol)	işçi 6	1	1	0.69	0
11	Ön bedenün düz durması için dikiş atma (sağ-sol)	işçi 7	1	1	0.99	142
12	Ön patlet yerine overlok çekme	işçi 8	1	1	0.27	0
13	Patlet takma	işçi 9	1	1	0.80	1
14	Fermuar takma	işçi 10	1	1	0.57	0
15	Ön birleştirme(bağlama)(İki parçayı birleştirme)	işçi 11	1	2	0.61	0
16	Patlet J dikişinin atılması	işçi 12	1	1	0.49	0
17	Kemerin iki parçasını birleştirme	işçi 21	1	1	0.99	0
18	Kemer çiması atılır	işçi 22	1	1	0.99	12
19	Arka ağ çatma	işçi 17	1	1	0.64	0
20	Ara çatma	işçi 18	1	1	0.99	56
21	Ön ve arka parçaların birleştirilmesi (yan çatma)	işçi 19	1	2	0.65	0
22	Köprü takma	işçi 20	1	1	0.96	1
23	Kemer takma	işçi 23	1	2	0.63	0
24	Beden + marka etiketi takılması	işçi 24	1	1	0.85	0
25	Kanca yerinin işaretlenmesi ve kancanın alt parçasını takma	işçi 25	1	1	0.46	0
26	Kanca yerinin işaretlenmesi ve kancanın üst parçasını takma	işçi 26	1	1	0.55	0

İSTASYON	GÖREV	ÇALIŞAN	KAPASİTE (MEVCUT DURUM)	KAPASİTE (OPTQUEST)	İŞGÜCÜ KAPASİTE KULLANIM ORANI (OPTQUEST)	KUYRUKTA BEKLEYEN ORTALAMA İŞ SAYISI (OPTQUEST)
27	Kemer ucuna dikiş atılması + yıkama etiketinin takılması	işçi 27	1	1	0.79	0
28	Kemer ucunun kesilmesi	işçi 28	1	1	0.13	0
29	Kemer kapatma	işçi 29	1	2	0.55	0
30	Köprü altlarına ve patlete punteriz vurma	işçi 30	1	1	0.94	1
31	Köprü kapatma	işçi 31	1	1	0.87	0
32	Paçaya overlok çekme	işçi 32	1	1	0.68	0
33	Paçalara klapa dikme	işçi 33	1	1	0.98	24
34	Punteriz atılır	işçi 34	1	1	0.96	1
35	İp temizleme	işçi 35	2	2	0.70	0
36	Ütü yapma	işçi 36	1	2	0.53	0
37	Kalite	işçi 37	1	1	0.97	10
38	Paket	işçi 38	2	2	0.58	0

2. Senaryo:

1. Senaryoda işçi 25, işçi 28, işçi 12 ve işçi 8'in kapasite kullanım oranlarının %50'nin altında olduğu görülmüştür. Bu nedenle 2. Senaryoda, verimsiz çalışan işçilerin yaptığı görevler diğer işçilere atanarak verimsiz çalışan işçiler o işler için kullanılmayacaktır. Burada boşta kalan verimsiz işçiler ile atama yapılacak dikim bölümü için yeni işçi alınmayacaktır. Bu nedenle 1.senaryoda bulunan kısıt (3), 2. Senaryoda kısıt (6) da verildiği şekilde olacaktır.

$$\sum_{i=1}^{34} X_i \leq 34, \quad (6)$$

Yapılan düzenlemeler sonucunda Tablo 5.9'da verilen sonuçlara ulaşılmıştır.

Tablo 5.9: 2. Senaryo ile elde edilen en iyi atama sonuçları

İSTASYON	GÖREV	ÇALIŞAN	KAPASİTE (MEVCUT DURUM)	KAPASİTE (OPTQUEST)	İŞGÜCÜ KAPASİTE KULLANIM ORANI (OPTQUEST)	BEKLEYEN ORTALAMA İŞ SAYISI
1	Arka pens ve fileto yerleri işaretle (sağ-sol)	işçi 13	1	1	0.99	2
2	Arka pens dikme (sağ-sol)	işçi 14	1	1	0.99	41
3	Fileto açma (sağ-sol)	işçi 15	1	1	0.86	0
4	Ön cep yeri işaretleme (sağ-sol)	işçi 1	1	1	0.99	1
5	Parça şerit takma (sağ-sol)	işçi 16	1	2	0.71	0
6	Pervaz ile ceplik kumaşının birleştirilmesi (sağ-sol)	işçi 2	1	1	0.99	3
7	Torbayı ön parçaya monte etme (sağ-sol)	işçi 3	1	1	0.99	201
8	Takılan cebe çima dikiş atma (sağ-sol)	işçi 4	1	1	0.99	10
9	Ön parçayı cebe tutturma (sağ-sol)	işçi 5	1	1	0.79	0
10	Ön cep torbasına overlok çekme (sağ-sol)	işçi 6	1	1	0.81	0
12	Ön patlet yerine overlok çekme					
11	Ön beden düz durması için dikiş atma (sağ-sol)	işçi 7	1	1	0.95	0
13	Patlet takma	işçi 9	1	1	0.77	1
14	Fermuar takma	işçi 10	1	1	0.97	2
16	Patlet J dikişinin atılması					
15	Ön birleştirme(bağlama)(İki parçayı birleştirme)	işçi 11	1	1	0.99	90
17	Kemerin iki parçasını birleştirme	işçi 21	1	1	0.99	0
18	Kemer çiması atılır	işçi 22	1	1	0.99	8
19	Arka ağ çatma	işçi 17	1	1	0.65	0
20	Ara çatma	işçi 18	1	1	0.95	1
21	Ön ve arka parçaların birleştirilmesi (yan çatma)	işçi 19	1	2	0.61	0
22	Köprü takma	işçi 20	1	1	0.93	1
23	Kemer takma	işçi 23	1	2	0.60	0
24	Beden + marka etiketi takılması	işçi 24	1	1	0.81	0
25	Kanca yerinin işaretlenmesi ve kancanın alt parçasını takma	işçi 26	1	1	0.98	3
26	Kanca yerinin işaretlenmesi ve kancanın üst parçasını takma					
27	Kemer ucuna dikiş atılması + yıkama etiketinin takılması	işçi 27	1	1	0.76	0
28	Kemer ucunun kesilmesi	işçi 29	1	2	0.59	0
29	Kemer kapatma					
30	Köprü altlarına ve patlete punteriz vurma	işçi 30	1	1	0.91	1

İSTASYON	GÖREV	ÇALIŞAN	KAPASİTE (MEVCUT DURUM)	KAPASİTE (OPTQUEST)	İŞGÜCÜ KAPASİTE KULLANIM ORANI (OPTQUEST)	BEKLEYEN ORTALAMA İŞ SAYISI
31	Köprü kapatma	işçi 31	1	1	0.82	1
32	Paçaya overlok çekme	işçi 32	1	1	0.66	0
33	Paçalara klapa dikme	işçi 33	1	1	0.96	3
34	Punteriz atılır	işçi 34	1	1	0.95	1
35	İp temizleme	işçi 35	2	2	0.69	0
36	Ütü yapma	işçi 36	1	2	0.53	0
37	Kalite	işçi 37	1	1	0.97	6
38	Paket	işçi 38	2	2	0.58	0

Optimizasyon sonucuna göre, çıktı miktarı 1054 adettir. Torbayı ön parçaya monte etme ve ön birleştirme görevlerinde kuyruk oluşumu gerçekleşmiştir fakat Tablo 5.9’da da görüldüğü gibi işgücü kapasite kullanım oranları %50’nin üstündedir. Sonuçlara bakıldığında 5 yeni işçiye ihtiyaç duyulmaktadır. Başlangıçta 25, 28, 16 ve 12. İstasyonlarda bulunan 25, 28, 12 ve 8. işçiler açılacak yeni istasyonlarda kullanılacaktır. Geriye kalan bir işçi için eleman alımı yapılmalıdır. Eldeki işçiler dikim aşamasında kullanılacaktır. Bu sonuçlara göre bir adet yeni istasyon açılması gerekmektedir. Toplamda istasyon sayısı 39 olacaktır.

3. Senaryo:

1.ve 2. senaryoda çıktı miktarının arttığı fakat bazı görevlerde kuyruk oluşumu gerçekleştiği görülmüştür. Bu nedenle 3. senaryoda amacımız çıktı miktarını artırmak, işgücü kapasite kullanım oranını %50’nin üstünde tutmak ve kuyruk oluşumunu önlemektir.

3. senaryo için işçi 25, işçi 28 ve işçi 8 mevcut görevlerinde kullanılmayacaktır ve bu işçilerin yaptığı görevler diğer işçilere dağıtılacaktır. 2. senaryodan farkı burada sadece boşta kalan işçiler kullanılmayacak yeni işçi alınabilecektir. 1.senaryo için oluşturulan kısıtlar burada da değişmeyecektir. Bu şekilde yapılan düzenlemeler sonucunda Tablo 5.10’da verilen sonuçlara ulaşılmıştır.

Tablo 5.10: 3. Senaryo ile elde edilen en iyi atama sonuçları

İSTASYON	GÖREV	ÇALIŞAN	KAPASİTE (MEVCUT DURUM)	KAPASİTE (OPTQUEST)	İŞGÜCÜ KAPASİTE KULLANIM ORANI (OPTQUEST)	KUYRUKTA BEKLEYEN ORTALAMA İŞ SAYISI
1	Arka pens ve fileto yerleri işaretle (sağ-sol)	işçi 13	1	1	0.99	3
2	Arka pens dikme (sağ-sol)	işçi 14	1	1	0.99	37
3	Fileto açma (sağ-sol)	işçi 15	1	1	0.86	0
4	Ön cep yeri işaretleme (sağ-sol)	işçi 1	1	1	0.99	1
5	Parça şerit takma (sağ-sol)	işçi 16	1	2	0.71	0
6	Pervaz ile ceplik kumaşının birleştirilmesi (sağ-sol)	işçi 2	1	1	0.99	2
7	Torbayı ön parçaya monte etme (sağ-sol)	işçi 3	1	2	0.65	0
8	Takılan cebe çima dikiş atma (sağ-sol)	işçi 4	1	2	0.65	0
9	Ön parçayı cebe tutturma (sağ-sol)	işçi 5	1	1	0.99	37
10	Ön cep torbasına overlok çekme (sağ-sol)	işçi 6	1	1	0.99	17
12	Ön patlet yerine overlok çekme					
11	Ön bedenin düz durması için dikiş atma (sağ-sol)	işçi 7	1	2	0.59	0
13	Patlet takma	işçi 9	1	1	0.95	2
14	Fermuar takma	işçi 10	1	1	0.68	0
16	Patlet J dikişinin atılması	işçi 12	1	1	0.59	0
15	Ön birleştirme (bağlama) (İki parçayı birleştirme)	işçi 11	1	2	0.71	0
17	Kemerin iki parçasını birleştirme	işçi 21	1	1	0.99	0
18	Kemer çiması atılır	işçi 22	1	1	0.99	15
19	Arka ağ çatma	işçi 17	1	1	0.65	0
20	Ara çatma	işçi 18	1	2	0.55	0
21	Ön ve arka parçaların birleştirilmesi (yan çatma)	işçi 19	1	2	0.72	0
22	Köprü takma	işçi 20	1	1	0.99	45
23	Kemer takma	işçi 23	1	2	0.65	0
24	Beden + marka etiketi takılması	işçi 24	1	1	0.87	0
25	Kanca yerinin işaretlenmesi ve kancanın alt parçasını takma	işçi 26	1	1	0.98	20
26	Kanca yerinin işaretlenmesi ve kancanın üst parçasını takma					
27	Kemer ucuna dikiş atılması + yıkama etiketinin takılması	işçi 27	1	1	0.76	0

İSTASYON	GÖREV	ÇALIŞAN	KAPASİTE (MEVCUT DURUM)	KAPASİTE (OPTQUEST)	İŞGÜCÜ KAPASİTE KULLANIM ORANI (OPTQUEST)	KUYRUKTA BEKLEYEN ORTALAMA İŞ SAYISI
28	Kemer ucunun kesilmesi	işçi 29	1	2	0.60	0
29	Kemer kapatma					
30	Köprü altlarına ve patlete punteriz vurma	işçi 30	1	1	0.91	1
31	Köprü kapatma	işçi 31	1	1	0.84	0
32	Paçaya overlok çekme	işçi 32	1	1	0.67	0
33	Paçalara klapa dikme	işçi 33	1	1	0.98	3
34	Punteriz atılır	işçi 34	1	1	0.95	0
35	İp temizleme	işçi 35	2	2	0.70	0
36	Ütü yapma	işçi 36	1	2	0.54	0
37	Kalite	işçi 37	1	1	0.98	10
38	Paket	işçi 38	2	2	0.58	0

Tablo 5.10’da görüldüğü gibi optimizasyon sonucunda 10 yeni işçiye ihtiyaç olduğu görülmüştür. 25, 28 ve 12. istasyonlardan alınan 25, 28 ve 8. işçiler kullanılmalı geriye kalan 7 işçi için yeni eleman alımı yapılmalıdır. Yine tabloda görüldüğü gibi kuyruk sayıları kabul edilebilir seviyeye düşmüştür. Optimizasyon sonucunda 1063 adet ürün elde edilmiştir. İşgücü kapasite kullanım oranları %50’nin üstündedir. Bu durumda 7 adet yeni istasyon açılacak ve toplamda istasyon sayısı 45 olacaktır.

Genel olarak, üç farklı senaryo ortaya koyularak OptQuest ile üç farklı alternatif optimizasyon sonucu elde edilmiştir. Tablo 5.11’de mevcut durum ve üç optimizasyonun özet şekli verilmiştir. Burada 0 ile gösterilen işçiler, bulunduğu istasyondan alınıp 2 ile gösterilen işçilerin bulunduğu istasyona paralel bir istasyon açılarak atandığı anlamına gelmektedir. 2.senaryoda 12. işçi 16. istasyondan alınarak 2 değerine sahip işçilerin bulunduğu bir istasyona paralel olarak yerleştirilmiştir. Aynı şekilde 25, 28 ve 8. işçide bulunduğu istasyondan alınarak 2 değerine sahip istasyonlara paralel atanmıştır. 1 değerine karşılık gelen işçinin ise aynı istasyonda çalışmaya devam ettiği anlamına gelmektedir.

Tablo 5.11: Mevcut durum ve önerilen senaryoların karşılaştırılması

Çalışan	Mevcut Durum	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo
İşçi 1	1	1	1	1
İşçi 10	1	1	1	1
İşçi 11	1	2	1	2
İşçi 12	1	1	0	1
İşçi 13	1	1	1	1
İşçi 14	1	1	1	1
İşçi 15	1	1	1	1
İşçi 16	1	2	2	2
İşçi 17	1	1	1	1
İşçi 18	1	1	1	2
İşçi 19	1	2	2	2
İşçi 2	1	1	1	1
İşçi 20	1	1	1	1
İşçi 21	1	1	1	1
İşçi 22	1	1	1	1
İşçi 23	1	2	2	2
İşçi 24	1	1	1	1
İşçi 25	1	1	0	0
İşçi 26	1	1	1	1
İşçi 27	1	1	1	1
İşçi 28	1	1	0	0
İşçi 29	1	2	2	2
İşçi 3	1	2	1	2
İşçi 30	1	1	1	1
İşçi 31	1	1	1	1
İşçi 32	1	1	1	1
İşçi 33	1	1	1	1
İşçi 34	1	1	1	1
İşçi 35	2	2	2	2
İşçi 36	1	2	2	2

Çalışan	Mevcut Durum	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo
İşçi 37	1	1	1	1
İşçi 38	2	2	2	2
İşçi 4	1	2	1	2
İşçi 5	1	1	1	1
İşçi 6	1	1	1	1
İşçi 7	1	1	1	2
İşçi 8	1	1	0	0
İşçi 9	1	1	1	1
Çıktı miktarı	863	1064	1054	1063

Tablo 5.11'e bakıldığında üç OptQuest sonucunda da çıktı miktarının arttığı görülmüştür. Kapasite kullanım oranları ve yeni işçi sayısı da göz önünde bulundurularak, eldeki işçiler ile çıktı miktarını artıran 2. Senaryonun en iyi senaryo olduğu sonucuna varılmıştır.

5.7 Hat Dengeleme

Mutlu Tekstil, yılın belli dönemlerinde azalma olsa da aylık 20.000 ile 23.000 arasında sipariş almaktadır. Bu adetler işletmenin normal çalışma saatleri içerisinde üretebileceği adetten fazladır. Bu nedenle çözüm yolu olarak fazla mesailere gidilmektedir. Bu işletme için maliyetli bir çözüm yoludur. İşletme sorumlusu ile de görüşülmesi üzerine fazla mesai yapmadan bu taleplerin karşılanabilmesi için günlük üretim miktarının en azından 1000 adete yükselmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

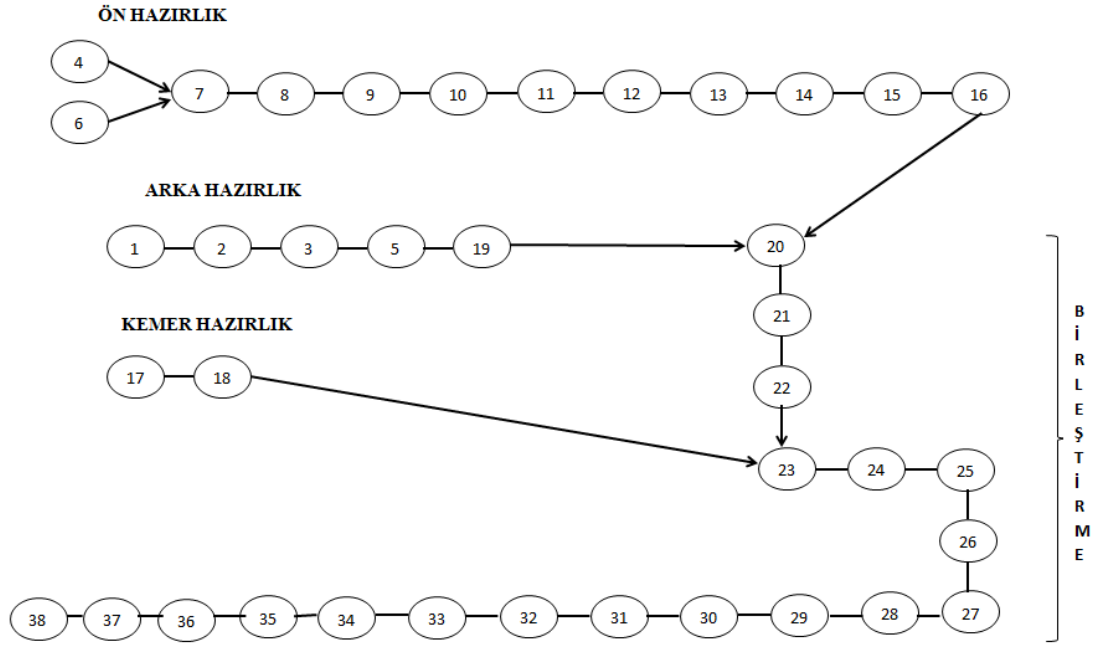
Amaca göre montaj hattı dengeleme problemi Tip 1, Tip 2, Tip E ve Tip F olmak üzere dört gruba ayrılmaktadır. Bu çalışmadaki amaçlardan biri belli dönemlerde artan talep miktarını fazla mesai yapmadan karşılamak diğeri ise eldeki sınırlı alan ve çalışan sayısı ile üretim miktarının artırılmasıdır. Bu amaçlar doğrultusunda çalışmada Tip 1 ve Tip 2 hat dengeleme problemleri üzerinde durulmuştur. Sınırlı alan ve çalışan sayısı kısıtı altında üretim miktarı artırılmak istendiği için Tip 2 hat dengeleme problemi olarak ele alındı ve OptQuest optimizasyon programı kullanılarak belirli istasyon-çalışan kısıtı altında, üretim

miktarını artırarak çevrim süresi minimize edilmeye çalışıldı. Belli dönemlerde sipariş miktarının artması ve bu gibi durumlarda üretim oranının önceden bilinmesi Tip 1 hat dengeleme problemi altında değerlendirilerek, montaj hattı dengeleme problemi çözüm yöntemlerinden biri olan “Sıralı konum ağılığı yöntemi” ile çözülecek ve hat dengeleme sonuçları Arena simülasyon programında gösterilecektir.

Bu bölümde chino pantolon için hat dengeleme çalışması yapılmıştır. Chino pantolon üretimi için otuz sekiz iş elemanı bulunmaktadır ve her biri birer istasyonda bulunmaktadır. Hat dengeleme sırasında iş elemanlarının öncelik ilişkileri belirlenmeli ve buna bağlı olarak öncelik diyagramı çıkarılmalıdır. Tablo 5.12’de iş elemanlarının öncelik ilişkileri ve standart süreleri verilmiştir. Şekil 5.17’de ise öncelik diyagramı gösterilmiştir.

Tablo 5.12: Chino pantolon üretim verileri

NO	OPERASYON ADI	ÇALIŞAN SAYISI	ÖNCELİK İLİŞKİSİ	STANDART SÜRE
1	Arka pens ve fileto yerleri işaretle	1	-	10,2
2	Arka pens dikme	1	1	11,7
3	Fileto açma	1	2	10,0
4	Ön cep yeri işaretleme	1	-	6,4
5	Parça şerit takma	1	3	16,4
6	Pervaz ile ceplik kumaşının birleştirilmesi	1	-	9,4
7	Torbayı ön parçaya monte etme	1	4--6	12,2
8	Takılan cebe çima dikiş atma	1	7	12,2
9	Ön parçayı cebe tutturma	1	8	9,8
10	Ön cep torbasına overlok çekme	1	9	6,8
11	Ön beden düz durması için dikiş atma	1	10	10,4
12	Ön patlet yerine overlok çekme	1	11	6,2
13	Patlet takma	1	12	18,1
14	Fermuar takma	1	13	13,0
15	Ön birleştirme(bağlama)(İki parçayı birleştirme)	1	14	27,5
16	Patlet J dikişinin atılması	1	15	12,0
17	Kemerin iki parçasını birleştirme	1	-	13,6
18	Kemer çiması atılır	1	17	13,6
19	Arka ağ çatma	1	5	15,6
20	Ara çatma	1	16--19	26,2
21	Ön ve arka parçaların birleştirilmesi (yan çatma)	1	20	34,8
22	Köprü takma	1	21	25,0
23	Kemer takma	1	18--22	33,5
24	Beden + marka etiketi takılması	1	23	22,8
25	Kanca yerinin işaretlenmesi ve kancanın alt parçasını takma	1	24	11,3
26	Kanca yerinin işaretlenmesi ve kancanın üst parçasını takma	1	25	13,8
27	Kemer ucuna dikiş atılması + yıkama etiketinin takılması	1	26	19,8
28	Kemer ucunun kesilmesi	1	27	3,6
29	Kemer kapatma	1	28	29,6
30	Köprü altlarına ve patlete punteriz vurma	1	29	26,2
31	Köprü kapatma	1	30	23,2
32	Paçaya overlok çekme	1	31	18,4
33	Paçalara klapa dikme	1	32	27,3
34	Punteriz atılır	1	33	29,0
35	İp temizleme	2	34	44,0
36	Ütü yapma	1	35	33,5
37	Kalite	1	36	31,1
38	Paket	2	37	37,7



Şekil 5.17: Chino pantolon öncelik diyagramı

İş elemanları arasındaki öncelik ilişkileri belirlendikten sonra çevrim süresi hesaplanmalıdır. Çevrim süresi hesabı yapılırken, üretim sayısının 1000 adet alınmasının sebebi bazı dönemlerde aylık 20.000-23.000 arası sipariş gelmesi ve bu talebin karşılanması için günlük üretimin en az 1000 adet olması gerektiği sonucuna varıldığından dolayı çevrim süresi buna göre hesaplanmıştır. Chino pantolon çevrim süresi:

$$C = \frac{T}{\dot{U}S} = \frac{(9 \text{ saat} * 60 \text{ dakika} * 60 \text{ saniye})}{1000 \text{ adet/gün}} = 32,5 \cong 33 \text{ sn}$$

Gerekli en az istasyon sayısı (n_{min}):

$$n_{min} = \left\lceil \frac{\sum_i^N t_i}{C} \right\rceil = \left\lceil \frac{684,7}{33} \right\rceil = 21$$

Dengeleme sonucunda istasyon sayısı 21'in altında olamaz.

Çevrim süresi hesaplandıktan sonra konum ağırlıkları bulunacaktır. Tablo 5.13' de konum ağırlıkları hesaplanmıştır. Burada satırdaki iş öğelerinin numaraları sütundaki iş öğeleri numaralarının altında yazıyor ise, sütunda yazan iş öğesi yapılmadan önce satırda yazan iş öğesinin yapılması gerektiğini göstermektedir. “+”

ile gösterilenler ise satırdaki iş öğelerinin öncelikli olarak yapılacağını, satırdaki iş öğeleri yapılmadan sütundaki işlerin yapılamayacağını göstermektedir.

Tablo 5.13: Chino pantolon konum ağırlıkları

İŞ ÖĞESİ	STD. SÜRE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	KONUM AĞIRLIĞI								
1	10,2		1	+	+																+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	513,6								
2	11,7			2	+																+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	503,3							
3	10,0				3																+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	491,7							
4	6,4						4	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	584,3							
5	16,4																			5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	481,7							
6	9,4						6	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	587,3							
7	12,2						7	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	577,9						
8	12,2							8	+	+	+	+	+	+	+	+	+				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	565,7						
9	9,8								9	+	+	+	+	+	+	+	+				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	553,5						
10	6,8									10	+	+	+	+	+	+	+				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	543,7						
11	10,4										11	+	+	+	+	+	+				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	536,9						
12	6,2											12	+	+	+	+	+				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	526,5					
13	18,1														13	+	+				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	520,3					
14	13,0															14	+				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	502,2				
15	27,5																15				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	489,2				
16	12,0																				16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	461,7				
17	13,6																		17				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	390,8				
18	13,6																						18	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	377,2				
19	15,6																				19	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	465,3				
20	26,2																					20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	449,7				
21	34,8																						21	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	423,5			
22	25,0																						22	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	388,7			
23	33,5																							23	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	363,7			
24	22,8																								24	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	330,2		
25	11,3																									25	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	307,4		
26	13,8																										26	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	296,1	
27	19,8																											27	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	282,4
28	3,6																																										262,6					
29	29,6																																										259,0					
30	26,2																																										229,5					
31	23,2																																										203,3					
32	18,4																																										180,1					
33	27,3																																											161,7				
34	29,0																																											134,4				
35	22,0																																											105,4				
36	33,5																																											83,4				
37	31,1																																											49,9				
38	18,8																																											18,8				

Konum ağırlıkları bulunduktan sonra, konum ağırlıkları azalan bir şekilde sıralanması gerekmektedir. Tablo 5.14'te iş elemanlarının azalan konum ağırlıkları gösterilmiştir.

Tablo 5.14: İş elemanlarının azalan konum ağırlıkları

NO	OPERASYON ADI	ÇALIŞAN SAYISI	ÖNCELİK İLİŞKİSİ	STANDART SÜRE	KONUM AĞIRLIĞI
ÖN HAZIRLIK					
6	Pervaz ile ceplik kumaşının birleştirilmesi	1	-	9,4	587,3
4	Ön cep yeri işaretleme	1	-	6,4	584,3
7	Torbayı ön parçaya monte etme	1	4-6	12,2	577,9
8	Takılan cebe çima dikiş atma	1	7	12,2	565,7
9	Ön parçayı cebe tutturma	1	8	9,8	553,5
10	Ön cep torbasına overlok çekme	1	9	6,8	543,7
11	Ön bedenün düz durması için dikiş atma	1	10	10,4	536,9
12	Ön patlet yerine overlok çekme	1	11	6,2	526,5
13	Patlet takma	1	12	18,1	520,3
14	Fermuar takma	1	13	13,0	502,2
15	Ön birleştirme(bağlama)(İki parçayı birleştirme)	1	14	27,5	489,2
16	Patlet J dikişinin atılması	1	15	12,0	461,7
ARKA HAZIRLIK					
1	Arka pens ve fileto yerleri işaretle	1	-	10,2	513,6
2	Arka pens dikme	1	1	11,7	503,3
3	Fileto açma	1	2	10,0	491,7
5	Parça şerit takma	1	3	16,4	481,7
19	Arka ağ çatma	1	5	15,6	465,3
KEMER HAZIRLIK					
17	Kemerin iki parçasını birleştirme	1	-	13,6	390,8
18	Kemer çiması atılır	1	17	13,6	377,2
BİRLEŞTİRME					
20	Ara çatma	1	16-19	26,2	449,7
21	Ön ve arka parçaların birleştirilmesi (yan çatma)	1	20	34,8	423,5
22	Köprü takma	1	21	25,0	388,7
23	Kemer takma	1	18-22	33,5	363,7
24	Beden + marka etiketi takılması	1	23	22,8	330,2
25	Kanca yerinin işaretlenmesi ve kancanın alt parçasını takma	1	24	11,3	307,4
26	Kanca yerinin işaretlenmesi ve kancanın üst parçasını takma	1	25	13,8	296,1
27	Kemer ucuna dikiş atılması + yıkama etiketinin takılması	1	26	19,8	282,4
28	Kemer ucunun kesilmesi	1	27	3,6	262,6
29	Kemer kapatma	1	28	29,6	259,0
30	Köprü altlarına ve patlete punteriz vurma	1	29	26,2	229,5
31	Köprü kapatma	1	30	23,2	203,3
32	Paçaya overlok çekme	1	31	18,4	180,1
33	Paçalara klapa dikme	1	32	27,3	161,7
34	Punteriz atılır	1	33	29,0	134,4
35	İp temizleme	2	34	22,0	105,4
36	Ütü yapma	1	35	33,5	83,4
37	Kalite	1	36	31,1	49,9
38	Paket	2	37	18,8	18,8

Tablo 5.15'te konum ağırlıklı hat dengeleme sonuçları verilmiştir.

Tablo 5.15: Hat dengeleme sonuçları

NO	OPERASYON ADI	ÇALIŞAN SAYISI	KONUM AĞIRLIĞI	ÖNCELİK İLİŞKİSİ	STANDART SÜRE	BİRİKİM Lİ İŞLEM SÜRESİ	BOŞ KALAN SÜRE	İSTASYON NUMARASI
ÖN HAZIRLIK								
6	Pervaz ile ceplik kumaşının birleştirilmesi	1	587,3	-	9,4	9,4	23,6	1
4	Ön cep yeri işaretleme	1	584,3	-	6,4	15,8	17,2	
7	Torbayı ön parçaya monte etme	1	577,9	4-6	12,2	28,0	5,0	
8	Takılan cebe çima dikiş atma	1	565,7	7	12,2	12,2	20,8	2
9	Ön parçayı cebe tutturma	1	553,5	8	9,8	22,0	11,0	
10	Ön cep torbasına overlok çekme	1	543,7	9	6,8	28,8	4,2	
11	Ön beden düz durması için dikiş atma	1	536,9	10	10,4	10,4	22,6	3
12	Ön patlet yerine overlok çekme	1	526,5	11	6,2	16,6	16,4	
13	Patlet takma	1	520,3	12	18,1	18,1	14,9	4
14	Fermuar takma	1	502,2	13	13,0	31,1	1,9	
15	Ön birleştirme(bağlama)(İki parçayı birleştirme)	1	489,2	14	27,5	27,5	5,5	5
16	Patlet J dikişinin atılması	1	461,7	15	12,0	12	21,0	6
ARKA HAZIRLIK								
1	Arka pens ve fileto yerleri işaretleme	1	513,6	-	10,2	10,2	22,8	7
2	Arka pens dikme	1	503,3	1	11,7	21,9	11,1	
3	Fileto açma	1	491,7	2	10,0	31,9	1,1	
5	Parça şerit takma	1	481,7	3	16,4	16,4	16,6	8
19	Arka ağ çatma	1	465,3	5	15,6	32,0	1,0	
KEMER HAZIRLIK								
17	Kemerin iki parçasını birleştirme	1	390,8	-	13,6	13,6	19,4	9
18	Kemer çiması atılır	1	377,2	17	13,6	27,1	5,9	
BİRLEŞTİRME								
20	Ara çatma	1	449,7	16-19	26,2	26,2	6,8	10-12
21	Ön ve arka parçaların birleştirilmesi (yan çatma)	1	423,5	20	34,8	34,8	31,2	
22	Köprü takma	1	388,7	21	25,0	59,8	6,2	
23	Kemer takma	1	363,7	18-22	33,5	33,5	32,5	13-14
24	Beden + marka etiketi takılması	1	330,2	23	22,8	56,3	9,7	
25	Kanca yerinin işaretlenmesi ve kancanın alt parçasını takma	1	307,4	24	11,3	11,3	21,7	15
26	Kanca yerinin işaretlenmesi ve kancanın üst parçasını takma	1	296,1	25	13,8	25,1	7,9	
27	Kemer ucuna dikiş atılması + yıkama etiketinin takılması	1	282,4	26	19,8	19,8	13,2	16
28	Kemer ucunun kesilmesi	1	262,6	27	3,6	23,3	9,7	
29	Kemer kapatma	1	259,0	28	29,6	29,6	3,4	17
30	Köprü altlarına ve patlete punteriz vurma	1	229,5	29	26,2	26,2	6,8	18
31	Köprü kapatma	1	203,3	30	23,2	23,2	9,8	19
32	Paçaya overlok çekme	1	180,1	31	18,4	18,4	14,6	20
33	Paçalara klapa dikme	1	161,7	32	27,3	27,3	5,7	21
34	Punteriz atılır	1	134,4	33	29,0	29,0	4,0	22
35	İp temizleme	2	105,4	34	22,0	22,0	11,0	23
36	Ütü yapma	1	83,4	35	33,5	33,5	32,5	24-25
37	Kalite	1	49,9	36	31,1	31,1	1,9	26
38	Paket	2	18,8	37	18,8	18,8	14,2	27

Tablo 5.15'te görüldüğü gibi ön hazırlık, arka hazırlık, kemer hazırlık ve birleştirme (ön ve arkanın birleştirilmesi) olarak 4 gruba ayrılarak hat dengelemesi yapılmıştır. Bunun sebebi ön beden parçalarının veya arka beden parçalarının diğer bölümlerdeki parçalar ile karışmasını önlemektir. Kısaca bölümler arası karmaşıklık önlenmeye çalışılmıştır.

Hat dengeleme sonucu denge kaybı, kurumsal etkinlik ve hat etkinliği oranları şu şekildedir.

Hat dengeleme sonucu denge kaybı:

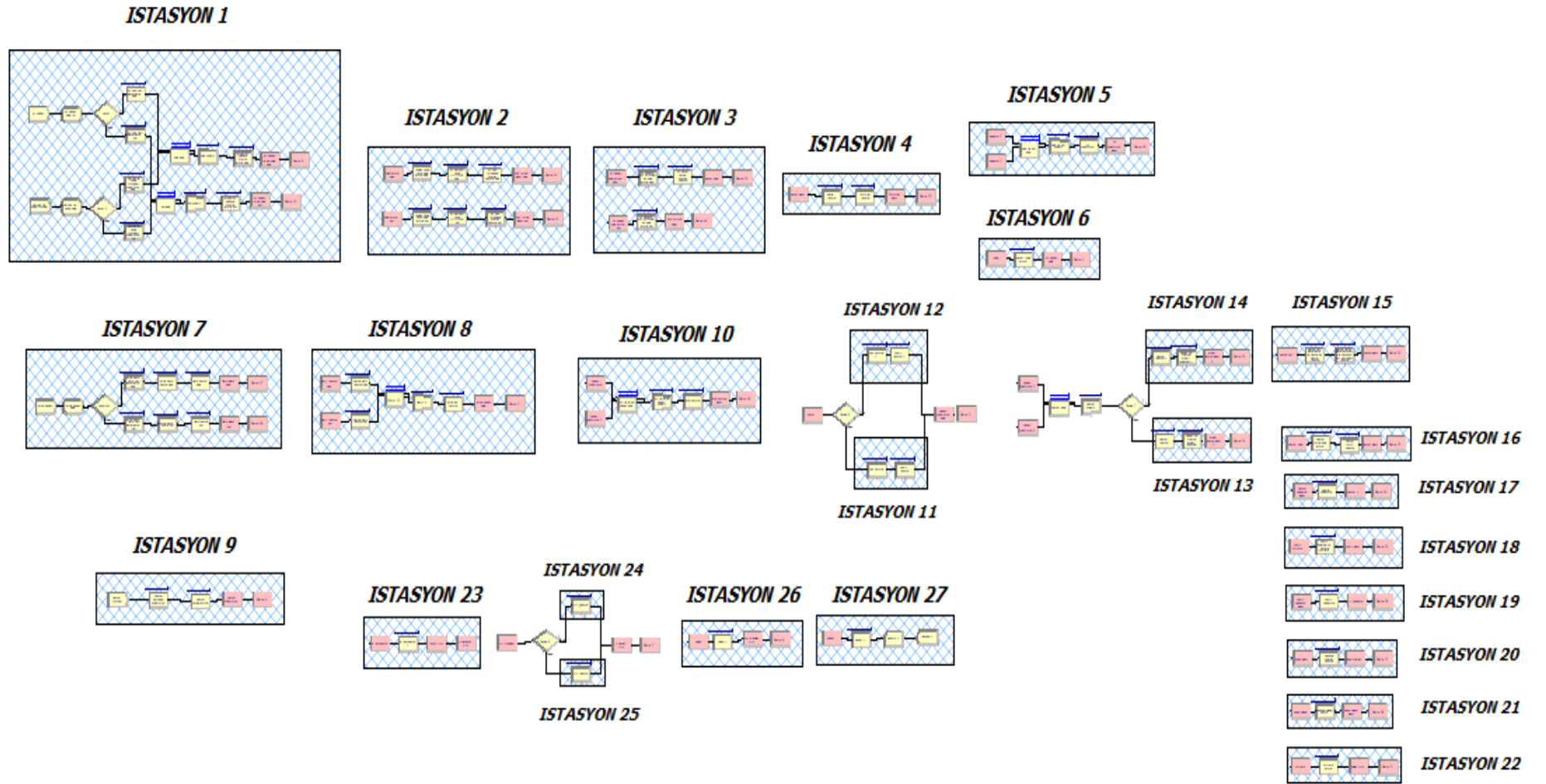
$$E_b = \frac{n * C - \sum_{i=1}^N t_i}{n * C} * 100 = \frac{27 * 33 - 684,7}{27 * 33} * 100 = \%23$$

Kurumsal etkinlik ve hat etkinliği:

$$KE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{C * n_{enk}} * 100 = \frac{684,7}{33 * 21} * 100 = \%99$$

$$LE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{n * C} * 100 = \frac{684,7}{27 * 33} * 100 = \%77$$

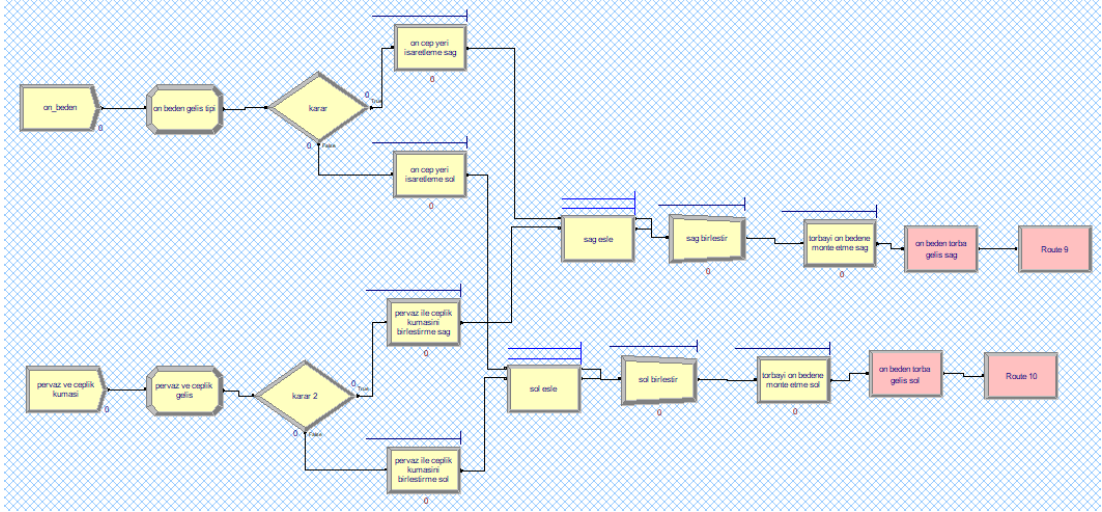
Dengelenen montaj hatlarının performansının değerlendirilebilmesi için Arena programına dengeleme sonucunun modeli kurulmuş ve çalıştırılmıştır. Şekil 5.18'de dengelenmiş üretim hattı simülasyon modeli gösterilmiştir.



Şekil 5.18: Dengelenmiş üretim hattı simülasyon modeli

İstasyon 1

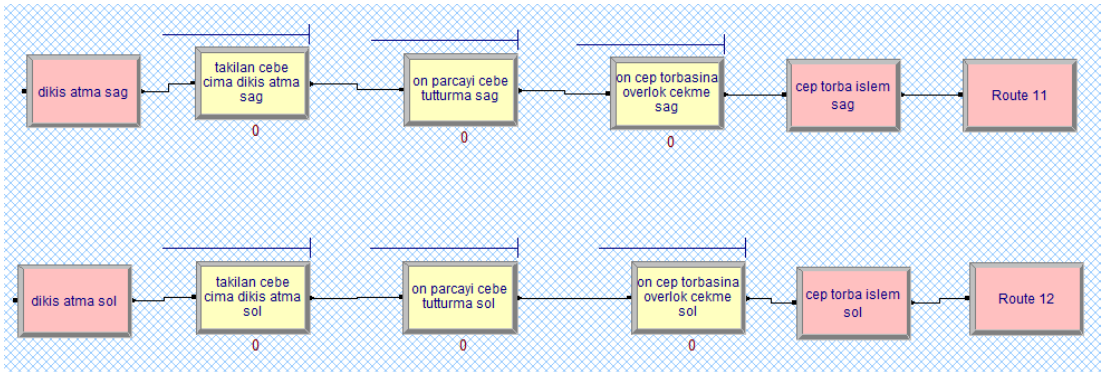
Şekil 5.19’da İstasyon 1 ait simülasyon modeli verilmiştir. Burada işçi 1 iki saat kendi işi için çalıştırılıp, bir saat işçi 3’e yardım edecektir. İşçi 1’in yaptığı işlerin işlem süresi az olduğu için eşleştirme esnasında birikim oluşturuyor. Hem bu birikimi azaltmak hem de işçi 3’ün yaptığı işi hızlandırmak böylelikle kuyruk oluşumunu önlemek amacı ile bu çözüm yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 5.19: İstasyon 1 simülasyon modeli

İstasyon 2

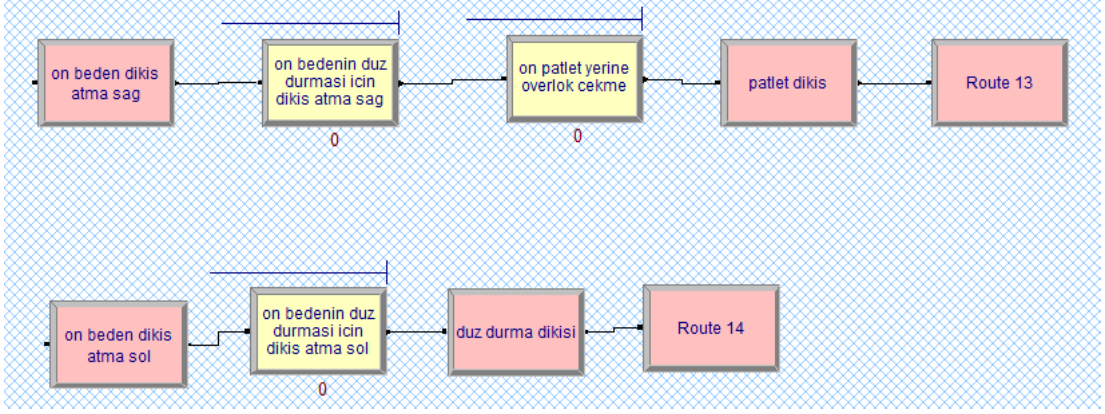
Şekil 5.20’de İstasyon 2’ye ait simülasyon modeli verilmiştir. İstasyon 1’de işçi 3’ün önünün açılması ile işçi 4’ün yaptığı işte kuyruk oluşmaktadır. İşçi 4’de ki birikmeden dolayı işçi 6’nın verimliliği düşmüştür. Hem takılan cebe çima dikis atma işleminde oluşan darboğazı hem de ileride oluşabilecek kuyruğu önlemek amacı ile işçi 4 ve işçi 6 işleri birlikte yapacaktır.



Şekil 5.20: İstasyon 2 simülasyon modeli

İstasyon 3

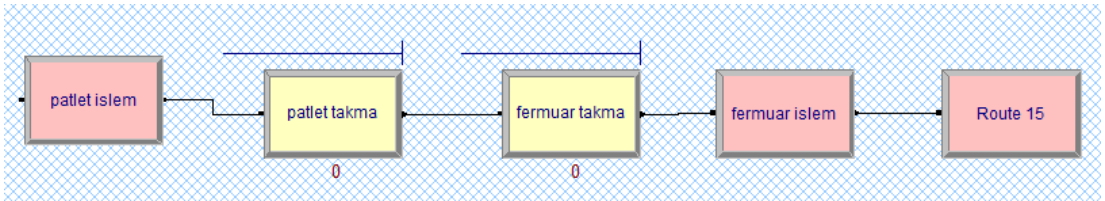
Şekil 5.21’de İstasyon 3’e ait simülasyon modeli verilmiştir. Burada ön bedeninin düz durması için dikiş atma işleminde kuyruk oluşmaktadır. Hem bu kuyruğun önünü açmak hem de sonraki işte kuyruk oluşmaması için işçi 7 ve işçi 8 birlikte çalışacaktır.



Şekil 5.21: İstasyon 3 simülasyon modeli

İstasyon 4

Şekil 5.22’de İstasyon 4’e ait simülasyon modeli verilmiştir. Burada patlet takma ve fermuar takma işlemleri standart süreleri toplamı çevrim süresini geçmemektedir. Bu nedenle işçi 9 ve işçi 10 bir istasyona atanmıştır. Bu çalışanların boşta kalma durumu söz konusu olmadığı için her bir işçi kendi işini yapacaktır. Kuyruk oluşumu söz konusu değildir.

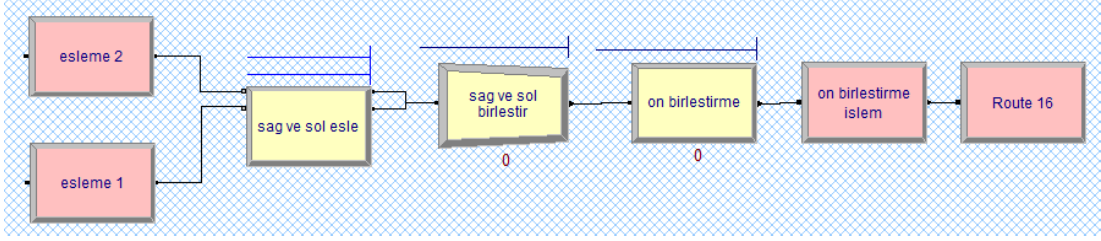


Şekil 5.22: İstasyon 4 simülasyon modeli

İstasyon 5

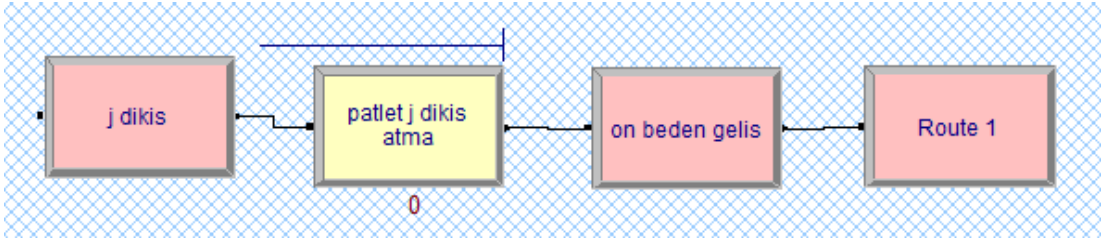
Şekil 5.23’te İstasyon 5’e ait simülasyon modeli verilmiştir. Burada ön birleştirmede kuyruk oluştuğu için, patlet j dikiş atma işlemi verimsiz çalışmaktadır. Bu nedenle hem darboğazı önlemek hem de sonraki iş ögesinde kuyruk oluşmaması için işçi 11

ve işçi 12 birlikte çalışacaktır. Bu nedenle istasyon 5'e paralel olarak istasyon 6 açılmıştır.



Şekil 5.23: İstasyon 5 simülasyon modeli

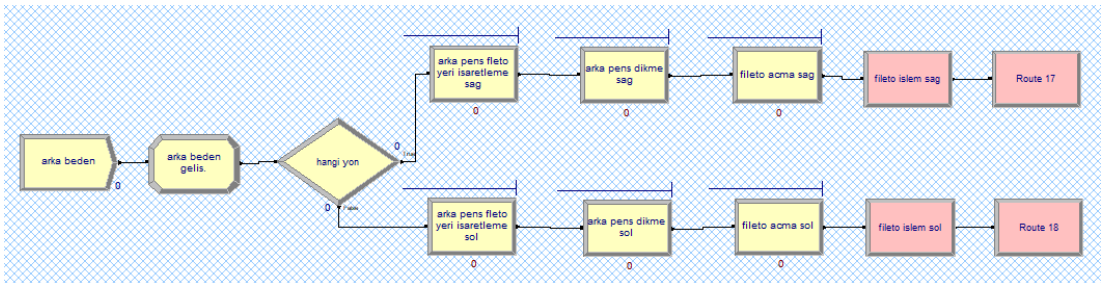
İstasyon 6



Şekil 5.24: İstasyon 6 simülasyon modeli

İstasyon 7

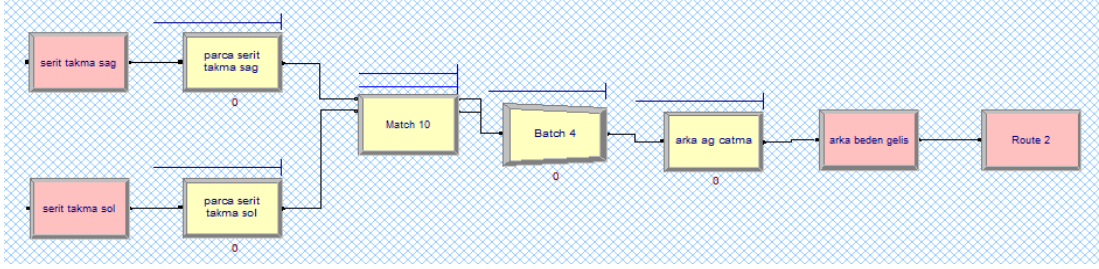
Şekil 5.25'te İstasyon 7'ye ait simülasyon modeli verilmiştir. Arka pens ve fileto yerleri işaretleme, arka pens dikme, fileto açma işlemleri standart süreleri çevrim süresini geçmemektedir. Bu nedenle 13, 14 ve 15. işçiler bir istasyona atanmıştır. Bu çalışanların boşta kalma durumu söz konusu olmadığı için her bir işçi kendi işini yapacaktır. Kuyruk oluşumu söz konusu değildir.



Şekil 5.25: İstasyon 7 simülasyon modeli

İstasyon 8

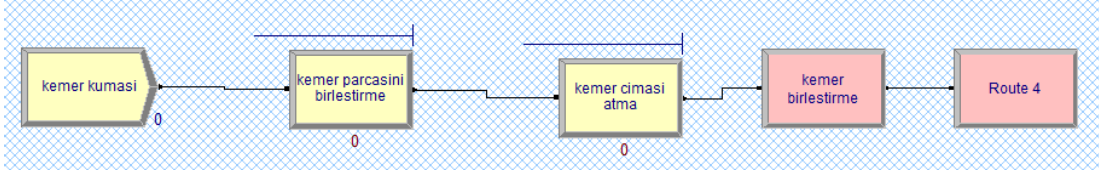
Şekil 5.26’da istasyon 8’e ait simülasyon modeli gösterilmektedir. Burada parça şerit takma işleminde darboğaz oluşmaktadır. Sonraki iş ögesinde de kuyruk oluşmaması için işçi 16 ve işçi 17 birlikte çalışacaktır.



Şekil 5.26: İstasyon 8 simülasyon modeli

İstasyon 9

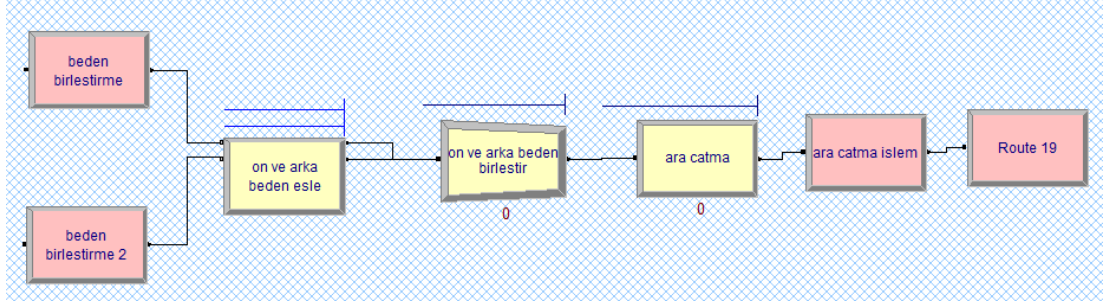
Şekil 5.27’de istasyon 9’a ait simülasyon modeli verilmiştir. Burada kemer parçasını birleştirme ve kemer çimasi atma işlemleri standart süreleri çevrim süresini geçmemektedir. Bu nedenle bir istasyona atanmıştır.



Şekil 5.27: İstasyon 9 simülasyon modeli

İstasyon 10

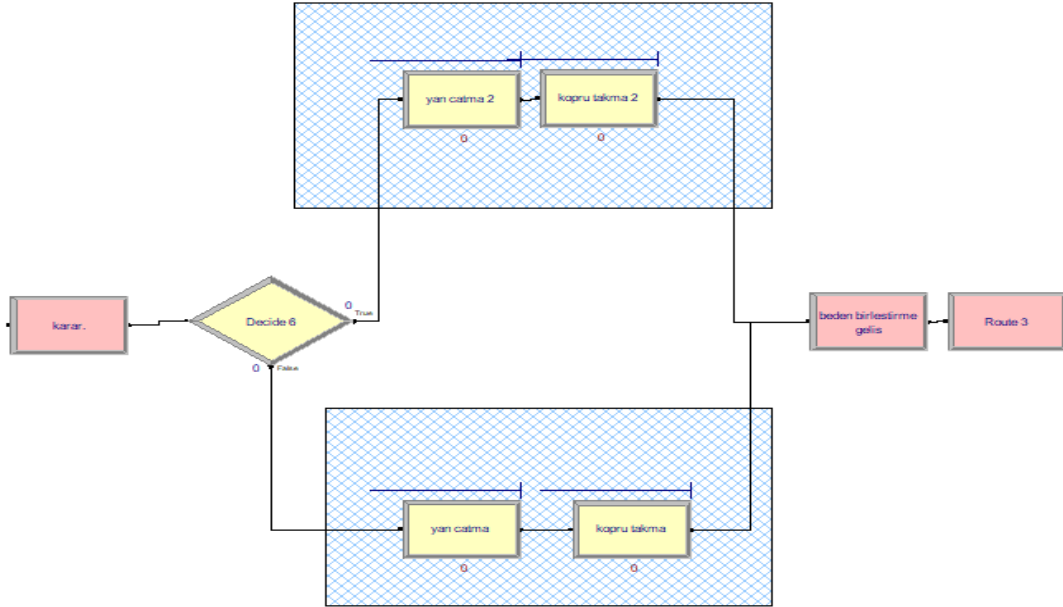
Şekil 5.28’de istasyon 10’a ait simülasyon modeli verilmiştir. Burada ara çatma işlemi standart süresi çevrim süresini karşıladığı için başka bir iş elemanı bu istasyona dahil edilememiştir.



Şekil 5.28: İstasyon 10 simülasyon modeli

İstasyon 11-12

Şekil 5.29'da İstasyon 11 ve istasyon 12'e ait simülasyon modeli verilmiştir. Burada yan çatma ve köprü takma işlem süreleri toplamı çevrim süresini geçmektedir. Bu nedenle paralel istasyon açılması gerekmektedir. Bu paralel istasyona bu iş öğelerini yapacak yeni bir işçi atanacaktır. Paralel istasyondaki köprü takma işlemi yeni işçi ve işçi 24 tarafından birlikte gerçekleştirilecektir.

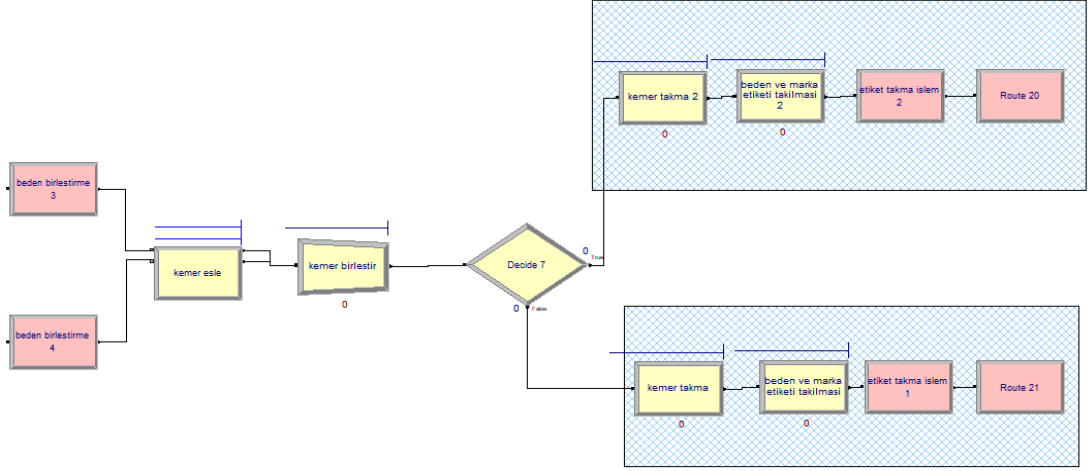


Şekil 5.29: İstasyon 11-12 simülasyon modeli

İstasyon 13-14

Şekil 5.30'da istasyon 13 ve istasyon 14'e ait simülasyon modeli verilmiştir. Burada kemer takma ve etiket takma işlem süreleri toplamı çevrim süresini geçtiği için bu

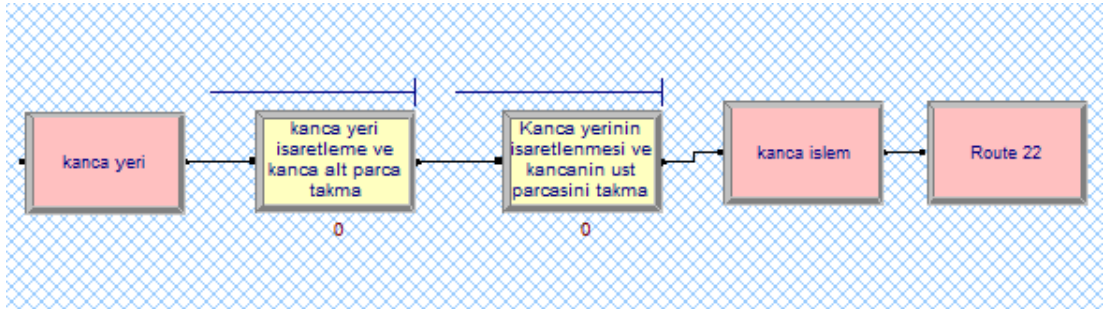
İstasyona paralel istasyon açılmıştır. Bu paralel istasyonda, istasyon 12’de çalıştırılacak olan yeni işçi kullanılacaktır.



Şekil 5.30: İstasyon 13-14 simülasyon modeli

İstasyon 15

Şekil 5.31’de istasyon 15’e ait simülasyon modeli verilmiştir. Burada her iki iş ögesinin işlem süresi az olduğu için işgücü kapasite kullanım oranları da düşüktür. Bu nedenle her iki iş ögesi için bir işçi kullanılacaktır. Bir işçi boşa kalacaktır.



Şekil 5.31: İstasyon 15 simülasyon modeli

İstasyon 16

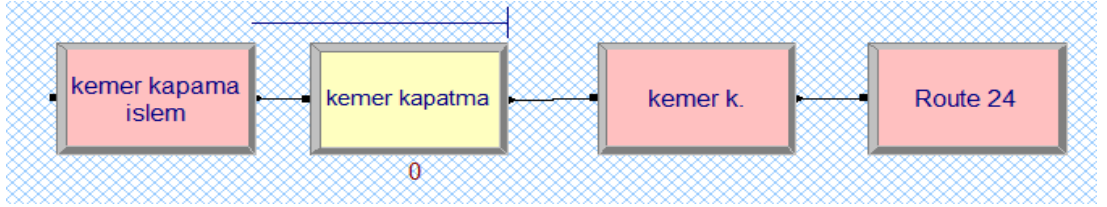
Şekil 5.32’de istasyon 16’a ait simülasyon modeli verilmiştir. Burada kemer ucunu kesme işlemi çok kısa sürmektedir. Bu nedenle işçi 28’in kapasite kullanım oranı düşüktür. İşçi 27, işçi 28’in de işini yaptığında işçi 28 boşa düşecektir.



Şekil 5.32: İstasyon 16 simülasyon modeli

İstasyon 17

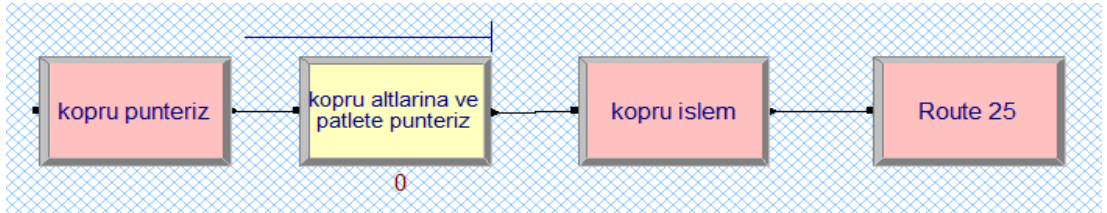
Şekil 5.33'te istasyon 17'e ait simülasyon modeli verilmiştir. Kemer kapatma standart süresi çevrim süresini tek başına karşıladığı için bir istasyona atanmıştır. Kuyruk oluşumu ve boştta kalma durumu söz konusu değildir.



Şekil 5.33: İstasyon 17 simülasyon modeli

İstasyon 18

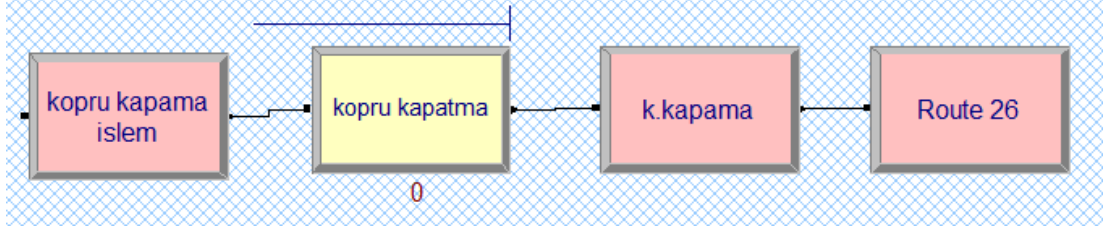
Şekil 5.34'te istasyon 18'e ait simülasyon modeli verilmiştir. Köprü altlarına ve patlete punteriz atma standart süresi çevrim süresini tek başına karşıladığı için bir istasyona atanmıştır. Kuyruk oluşumu ve boştta kalma durumu söz konusu değildir.



Şekil 5.34: İstasyon 18 simülasyon modeli

İstasyon 19

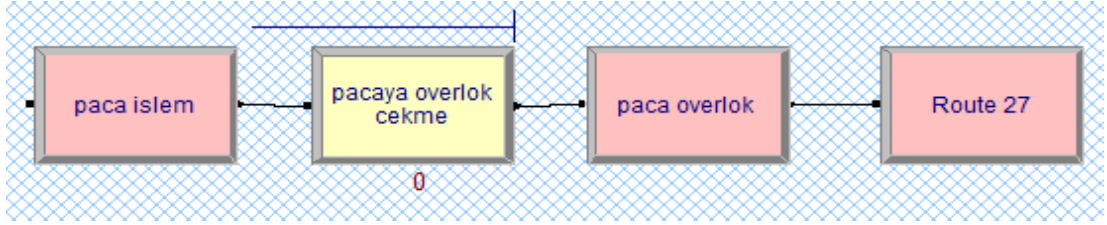
Şekil 5.35'te istasyon 19'e ait simülasyon modeli verilmiştir. Köprü kapatma standart süresi çevrim süresini tek başına karşıladığı için bir istasyona atanmıştır. Kuyruk oluşumu ve boştta kalma durumu söz konusu değildir.



Şekil 5.35: İstasyon 19 simülasyon modeli

İstasyon 20

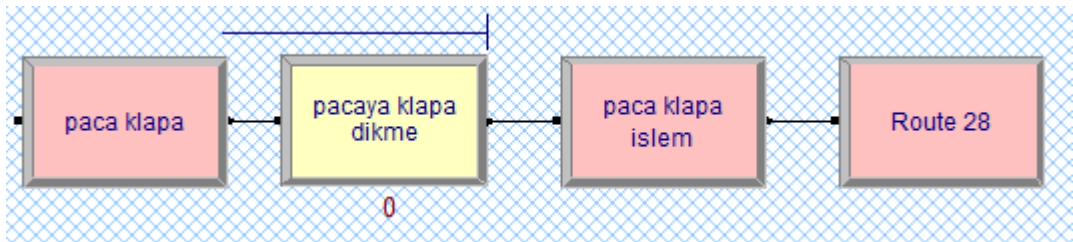
Şekil 5.36’de istasyon 20’e ait simülasyon modeli verilmiştir. Paçaya overlok çekme standart süresi çevrim süresini tek başına karşıladığı için bir istasyona atanmıştır. Kuyruk oluşumu ve boşta kalma durumu söz konusu değildir.



Şekil 5.36: İstasyon 20 simülasyon modeli

İstasyon 21

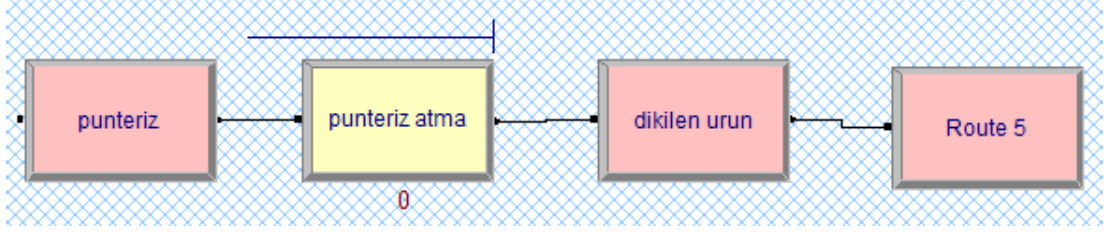
Şekil 5.37’de istasyon 21’e ait simülasyon modeli verilmiştir. Paçaya klapa dikme standart süresi çevrim süresini tek başına karşıladığı için bir istasyona atanmıştır. Kuyruk oluşumu ve boşta kalma durumu söz konusu değildir.



Şekil 5.37: İstasyon 21 simülasyon modeli

İstasyon 22

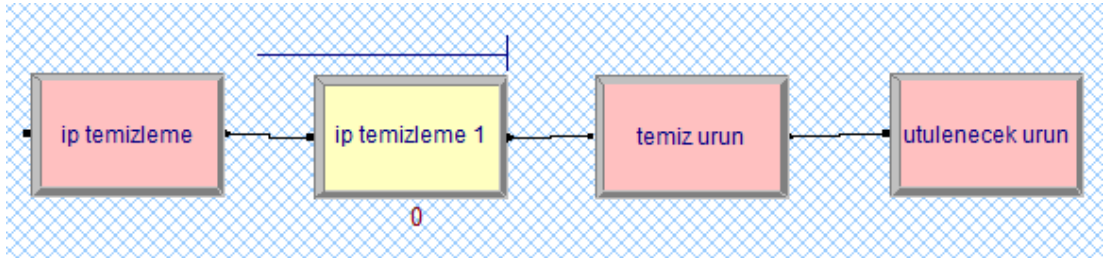
Şekil 5.38’de istasyon 22’e ait simülasyon modeli verilmiştir. Punteriz atma standart süresi çevrim süresini tek başına karşıladığı için bir istasyona atanmıştır. Kuyruk oluşumu ve boşta kalma durumu söz konusu değildir.



Şekil 5.38: İstasyon 22 simülasyon modeli

İstasyon 23

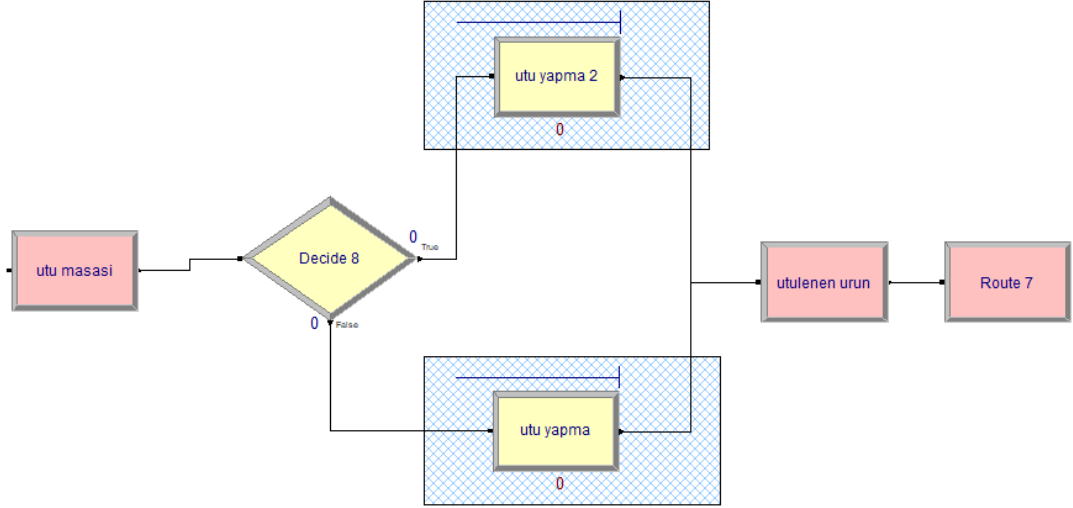
Şekil 5.39'da istasyon 23'e ait simülasyon modeli verilmiştir. İp temizleme standart süresi çevrim süresini tek başına karşıladığı için bir istasyona atanmıştır. Kuyruk oluşumu ve boşta kalma durumu söz konusu değildir.



Şekil 5.39: İstasyon 23 simülasyon modeli

İstasyon 24-25

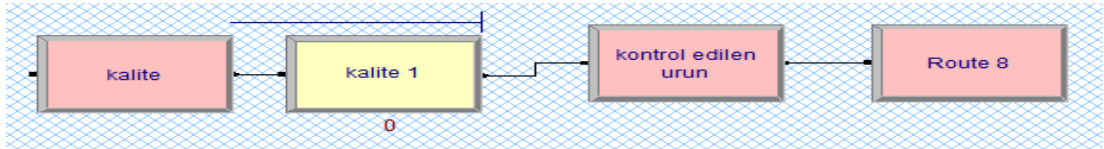
Şekil 5.40'ta istasyon 24 ve istasyon 25'e ait simülasyon modeli verilmiştir. Burada ütü işleminde kuyruk oluşmaktadır. İşlem süreside çevrim süresini aştığı için paralel istasyon açılması gerekmektedir. Bu nedenle paket bölümünde verimsiz çalışan işçi 38 paralel açılan istasyona atanacaktır.



Şekil 5.40: İstasyon 24-25 simülasyon modeli

İstasyon 26

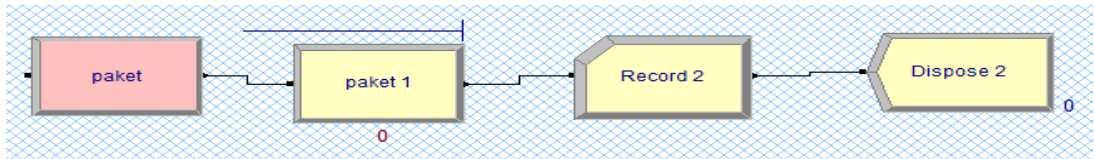
Şekil 5.41’de istasyon 26’a ait simülasyon modeli verilmiştir. Kalite kontrol işlemi standart süresi çevrim süresini tek başına karşıladığı için bir istasyona atanmıştır. Kuyruk oluşumu ve boşa kalma durumu söz konusu değildir.



Şekil 5.41: İstasyon 26 simülasyon modeli

İstasyon 27

Şekil 5.42’de istasyon 27’e ait simülasyon modeli verilmiştir. Paket işlemi standart süresi çevrim süresini tek başına karşıladığı için bir istasyona atanmıştır. Kuyruk oluşumu ve boşa kalma durumu söz konusu değildir.



Şekil 5.42: İstasyon 27 simülasyon modeli

Dengelenmiş sistemin işgücü kapasite kullanım oranları Tablo 5.16’da gösterilmiştir.

Tablo 5.16: Hat dengeleme sonucu işgücü kapasite kullanım oranı

ÇALIŞAN	İŞGÜCÜ KAPASİTE KULLANIM ORANI
işçi 1	0.93
işçi 10	0.66
işçi 11	0.93
işçi 12	0.93
işçi 13	0.99
işçi 14	0.99
işçi 15	0.85
işçi 16	0.99
işçi 17	0.99
işçi 18	0.99
işçi 19	0.93
işçi 2	0.99
işçi 20	0.70
işçi 21	0.99
işçi 22	0.99
işçi 23	0.97
işçi 24	0.86
işçi 25	0.98
işçi 27	0.88
işçi 29	0.94
işçi 3	0.98
işçi 30	0.89
işçi 31	0.82
işçi 32	0.65
işçi 33	0.96
işçi 34	0.95
işçi 35	0.68
işçi 36	0.78
işçi 37	0.96
işçi 38	0.71
işçi 39	0.89
işçi 4	0.93
işçi 5	0.95
işçi 6	0.96
işçi 7	0.71
işçi 8	0.71
işçi 9	0.91

5.8 Mevcut Sistem, OptQuest ve Hat Dengeleme Sonuçlarının Karşılaştırılması

Çalışmanın yapıldığı işletmede mevcut durumda 38 istasyon ve 43 işçi bulunmaktadır. Hat dengelemesi ile istasyon sayısı minimum seviyeye indirilerek bu istasyonlar içerisinde iyileştirmeler yapılarak hedeflenen çıktı elde edilmeye çalışılmıştır. Hat 27 istasyon ve 42 işçi (boşa düşen işçilerden biri yeni açılacak olan istasyonda kullanılmıştır. Diğerleri boşa düşmüştür) ile dengeli hale gelmiştir. Sonrasında Arena simülasyon modeli ile modellenip, sonuçlar mevcut durum ve en iyi OptQuest sonucu ile karşılaştırılmıştır. OptQuest'in en iyi sonucuna karar verirken çıktı miktarı, yeni alınacak işçi sayısı ve kapasite kullanım oranları dikkate alınmıştır. Bu değerlendirmeler sonucunda 2.senaryonun en iyi senaryo olduğuna karar verilmiştir. Tablo 5.17'de mevcut durum, en iyi OptQuest senaryosu ve hat dengeleme sonuçları karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.17: Mevcut durum, en iyi OptQuest senaryosu ve dengelenmiş durumun karşılaştırılması

	Bir günde üretilen chino pantolon sayısı (adet)	Ortalama kapasite kullanım oranı	Çevrim zamanı (sn)	İşçi sayısı	İstasyon sayısı
Mevcut Sistem	863	73%	38	43	38
OptQuest 2.Senaryo	1054	85%	31	44	39
Hat Dengeleme	1052	88%	31	42	27

Simülasyon 30 replikasyondan sonra dengeli hale gelmiştir. Sonucunda %22'lik bir artışla 863 adetten 1052 adete yükselmiştir. Ortalama kapasite kullanım oranı %21'lik bir artışla %73'ten %88'e yükselmiştir. Çevrim süresi ise %18'lik bir azalma ile 38 saniyeden 31 saniyeye düşerek bir zaman kazancı olmuştur. İş elemanları arasında mevcut duruma göre daha az, kabul edilebilir bir seviyede kuyruklar oluşmuştur. Çalışanlardan bir kişi ise boşa düşmüştür. Hat dengeleme çalışması OptQuest 2. senaryo ile karşılaştırıldığında, üretim adeti 1054 adetten 1052 adete düşmüştür. %0,2'lik bir azalma olmuştur. Ortalama kapasite kullanım oranı %85'ten %88'e yükselerek %4 oranında artmıştır. Çevrim süresinde ise bir değişiklik olmamıştır. Hat dengeleme ile 2. senaryo arasında sonuçlar karşılaştırıldığında çok

fazla bir fark görülmemektedir. Fakat 2. senaryoda darboğaz oluşumu önlenememiştir. Hat dengelemede ise darboğaz oluşumu görülmemektedir.

Mevcut durumda istasyonlar arasındaki zaman farkından dolayı birikme ve boşa düşme durumları olmaktadır. Hat dengeleme çalışması ile bu durum ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır. İstasyonlar arası zaman farkı en aza indirilerek sistemin verimliliği artırılıp, maksimum çıktı elde edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışma sonucunda istenilen sonuçlar elde edilip hat dengeli bir hale getirilmiştir.

5.9 Maliyet Analizi

Mevcut durum, simülasyonla oluşturulan üç alternatif senaryo ve hat dengelemesi sonuçlarının maliyet hesapları Tablo 5.19’da verilmiştir. Firma, yıkamasız chino pantolonun birim satış fiyatının ortalama 12,5 € olduğunu belirtmiştir (€=7 olarak alındı). Maliyet hesabı yapılırken sadece yeni alınacak makine maliyeti ve işçilik maliyeti dikkate alınmıştır. İşçilik maliyeti olarak aylık brüt asgari ücret dikkate alınmıştır. Makine maliyetleri Tablo 5.18’de verilmiştir. Kâr hesabı ise şu şekilde yapılmaktadır:

$$\text{Kâr} = (\text{Günlük üretim miktarı} * 1 \text{ ayda çalışılan gün sayısı} * \text{bir ürünün satış fiyatı}) - (\text{işçi sayısı} * \text{brüt asgari ücret} + \text{makine maliyeti})$$

Tablo 5.18: Makine maliyetleri

Makine	Maliyet (TL)
Düz Makine	7.500,00
Overlok Makine	8.000,00
Üç iplik Makine	12.300,00

Ek makineye ihtiyaç duyulan senaryolarda makine maliyetlerinin makine alındıktan sonraki ilk ay karşılanacağı varsayılmıştır ve Tablo 5.19’da makine maliyetleri çıkarılarak kâr (ilk ay) olarak verilmiştir. Yine tabloda verildiği gibi sonraki aylardaki kâr miktarı makine maliyetleri karşılandıktan sonraki durumu göstermektedir. Sonraki aylara makine maliyetleri dahil edilmemiştir. Bu maliyet hesaplamaları sonucu en karlı durumun sıralı konumsal ağırlık yöntemi ile yapılan

hat dengeleme çalışması olduğu görülmüştür. Mevcut duruma göre aylık 366.768,00 TL kâr elde edilmiştir.

Tablo 5.19: Senaryolara ilişkin maliyet analizi

Senaryo	Satış Gelir (TL)	Maliyet (TL)	Kâr (TL)
Mevcut Durum	1.661.275,00	126.549,00	1.534.726,00
Senaryo 1	2.048.200,00	180.593,00	1.898.107,00
Senaryo 2	2.028.950,00	129.492,00	1.899.458,00
Senaryo 3	2.046.275,00	185.150,00	1.899.125,00
Sıralı Konumsal Ağırlık Yöntemi	2.025.100,00	123.606,00	1.901.494,00

6. SONUÇLAR

Tekstil sektörü, Türkiye ekonomisinde ve ihracatında önemli bir pazar payına sahip olduğundan dolayı bu alanda faaliyet gösteren firmalar arasında güçlü bir rekabet vardır. Firmaların plansız büyüme ve yatırımları, pazarın dar olması, üretim akışındaki aksaklıklardan ve kalite problemlerinden kaynaklı maliyet artışları gibi problemler işletmelerin rekabeti için tehdit unsurlarıdır.

Günümüzde rekabetin sürekli artması, özellikle rekabet gücü yüksek olan Asya ülkelerinin daha ucuz işgücü avantajlarına sahip olması Türkiye'deki tekstil sektörünü tehdit eder duruma getirmiştir. Güçlü rakipler ile rekabet ederken rekabette en büyük unsur olan verimlilik ve etkinlik kavramlarına daha fazla önem verilmesi ve kaynakların en iyi şekilde kullanılması bu konuda büyük önem arz etmektedir. Fakat tekstil sektörü insan gücü gerektiren emek yoğun bir sektör olduğu için kaynakların etkin kullanılamaması, üretim hatlarında darboğazların ve dengesiz iş akışlarının oluşması gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu gibi sorunlar verimliliği düşürerek maliyetlerin artmasına neden olurken bir taraftan da kalite problemlerine sebep olup müşteri memnuniyetini olumsuz etkilemektedir.

Firmaların rekabet güçlerini koruyabilmeleri için daha kısa zamanda ve daha az maliyetle daha kaliteli ürünler üretmesi gerekmektedir. Firmaların kapasitelerinin düşük olması bu sebeple müşteri taleplerinin istenilen zamanda karşılanamaması fazla mesailerin artmasına sebep olmaktadır. Bu durum ek maliyet getirdiğinden firmaların istemediği bir durumdur.

Bu tez çalışmasının amacı, bir konfeksiyon işletmesinde darboğazların olduğu bir üretim hattında sürecin iyileştirilerek kapasitenin artırılmasıdır. Bu amaçla öncelikle ilgili işyerindeki sorumlu kişiler ile görüşülerek işyerinde karşılaşılan problemler ile ilgili bilgi alınmıştır. Dikim bantlarından yeterli verim alınamadığı ve siparişlerin yetiştirilebilmesi için fazla mesailerin yapıldığı bilgisine istinaden, üzerine dikim bantlarındaki üretim süreci gözlenmiş ve bu sürece ilişkin iş akışı çıkarılmıştır. Gözlemler sonucunda bazı iş istasyonlarında darboğazların olduğu ve bazı çalışanların zaman zaman boşa kaldıkları görülmüştür.

Süreç iyileştirme için öncelikle mevcut durumun analiz edilmesi gerekir. O nedenle işletmede iş etüdü çalışması yapılarak, iş akışı, iş öncelikleri ve standart zaman bilgileri elde edilmiş ve bu bilgiler kullanılarak mevcut sistemin simülasyon modeli geliştirilmiştir. Daha sonra dar boğazların önlenmesi ve işgücü kapasite kullanım oranlarının aynı seviyede tutulabilmesi için farklı senaryolar önerilerek mevcut durum ile karşılaştırılmıştır. Alternatif senaryolar OptQuest yardımı ile analiz edilip en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca konumsal sıralı ağırlık yöntemi kullanılarak hat dengeleme çalışması yapılmış ve bu atamalar sonucunda elde edilen simülasyon çıktıları da hem mevcut sistemle hem de önerilen alternatif senaryolarla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar konumsal sıralı ağırlık yöntemi ile yapılan işgücü atamalarının darboğazları önlediğini ve verimliliği artırdığını göstermiştir. Bu yöntemle işgücü kapasite kullanım oranlarının %73'ten %88'e yükseldiği ve çıktı miktarının 863 adetten 1052 adete yükseldiği gözlenmiştir. Yapılan maliyet analizi ile de bu yöntemin en iyi çözüm üreten yöntem olduğu gösterilmiştir. Bu yöntem ile yapılan işgücü atamaları sonucunda mevcut duruma kıyasla işletmenin karının %23 oranında arttığı gözlenmiştir.

Çalışmanın sonuçlarından da görüldüğü gibi, maksimum üretim oranını elde etmek için, yeni işgücü istihdam etmek her zaman iyi sonuçlar vermemektedir. Ancak, üretim miktarı artırılmış olsa bile hat etkin bir şekilde çalışmayabilir. Bu nedenle, bu çalışmadaki gibi mevcut çalışanların durumunun tespit edilip, verimsiz çalışan işçileri darboğaz oluşturan yerlerde kullanmak daha iyi sonuç verebilmektedir. Bu çalışmada verimsiz çalışan işçileri darboğaz oluşturan yerlerde kullanabilmek için paralel istasyonlar açarak daha iyi bir hat dengesi ve daha yüksek işgücü kapasite kullanım oranları elde edilmiş ve böylece üretim hattının daha verimli bir şekilde çalışması sağlanmıştır.

İleride benzer bir çalışma için hat dengelemede meta-sezgisel yöntemlerden yararlanılabilir. Yerleşim düzeni iyileştirmek veya ergonomik iyileştirmelerde bulunmak da üretimin etkinliğini artıracak diğer yöntemlerdir.

7. KAYNAKLAR

Aksoy S., Yıldız, M.S. ve Altınova S., “Pozisyon ağırlığı metodu ile tek model U-tipi montaj hattı dengeleme”, AKÜ İİBF Dergisi, 16(2), 83-89, (2014).

Amaran, S., Sahinidis, N.V., Sharda, B. ve Bury, S.J., “Simulation optimization: A review of algorithms and applications”, 4OR-Q J Oper Res, 12, 301–333, (2014).

Akın, N.G., “Kanepe montaj hattının dengelenmesi ve benzetim yöntemi ile sınanması”, Çankırı Karatekin Üniversitesi İİBF Dergisi, 5(1), 95-120, (2015).

Bradley, A., *Guide USER’S GUIDE, OptQuest for Arena*, PUBLICATION ARENAOUM001G- EN-P, Supersedes Publication ARENAO UM001FEN-P, PN-71366, (2010).

Amane, N.S. ve Jadhav V.S., “Line balancing and simulation of a diesel genertor assembly line for productivity improvement”, Journal of Material Science and Mechanical Engineering (JMSME), 3(4), 285-288, (2016).

Azadeh A. ve Maghsoudi A., “Optimization of production systems through integration of computer simulation, design of experiment, and tabu search: the case of a large steelmaking workshop”, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 48, 785–800, (2010).

Bard, J. F., “Assembly line balancing with parallel workstations and dead time”, International Journal of Production Research, 27(6), 1005-1018, (1989).

Bautista, J. ve Pereira, J., “A dynamic programming based heuristic for the assembly line balancing problem”, European Journal of Operational Research, 194, 787–794, (2009).

Banks, J., Carson II, J.S., Nelson, B.L. ve Nicol, D.M., *Discrete-Event System Simulation*, 4.baskı, Prentice Hall, (2004).

Bon, A.T. ve Shahrin, N. N., “Assembly line optimization using arena simulation”, Proceedings of the 2016 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 2225-2232, (2016).

Büyüksaatçi, S., Tüysüz, F. ve Bilen, K., “Balancing and simulation of assembly line in an lcd manufacturing company”, 2015 6th International Conference on Modeling, Simulation, and Applied Optimization (ICMSAO), (2015), DOI: 10.1109/ICMSAO.2015.7152254.

Carson, Y. ve Maria, A., “Simulation optimization”, Proceedings of the 29th Conference on Winter Simulation-WSC '97, 118-126, (1997).

Cortés, P., Onieva, L. ve Guadix, J., “Optimizing and simulating the assembly line balancing problem in a motorcycle manufacturing company: a case study”, International Journal of Production Research, 48(12), 3637-3656, (2010).

Chavare, K.B. ve Mulla A.M., “Application of ranked position weighted (RPW) method for assembly line balancing”, International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET),3(6), 254-262, (2015).

Cerbaso, C., Silvestri, A., Bona, G.D., Forcina, A. ve Falcone, D., “Assembly line balancing, proposal of a new methodology: integrated balancing method”, International Journal of Services and Operations Management, Inderscience Enterprises Ltd, 27(3),408-437, (2017).

Chen, T., “The optimized-rule-fusion and certain-rule-first approach for multi-objective job scheduling in a wafer fabrication factory”, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 9(6), (2013).

Çayıroğlu, İ., İleri Algoritma Analizi, Karabük Üniversitesi, Karabük, <https://docplayer.biz.tr/48417804-Ileri-algoritma-analizi-tabu-arama-algoritmasi-tabu-search.html>

Dang, Q. V. ve Pham K., “Design of a footwear assembly line using simulation-based ALNS”, Procedia CIRP,40,596-601, (2016).

Daudt, C. G., “Applying dynamic programming to assembly line balancing and sequencing problems”, *Bitirme Tezi, Rio Grande Do Sul Federal Üniversitesi Bilişim Enstitüsü Bilgisayar Bilimleri Fakültesi*, Portekiz, (2013).

Delice, Y., Kızılkaya Aydoğan, E. ve Özcan, U., “Stochastic two-sided U-type assembly line balancing: a genetic algorithm approach”, International Journal of Production Research, 54(11), 3429-3451, (2016).

Delice Y., Kızılkaya Aydoğan, E., Söylemez İ. ve Özcan U., “An ant colony optimisation algorithm for balancing two-sided U-type assembly lines with sequence-dependent set-up times”, *Sadhana-Academy Proceedings In Engineering Sciences*,43,199, (2018).

Defersha, M. F. ve Mohebalizadehgashti, F., “Simultaneous balancing, sequencing, and workstation planning for a mixed model manual assembly line using hybrid genetic algorithm”, *Computers & Industrial Engineering*,119, 370–387, (2018).

Doğan, İ., *Yöneylem Araştırması Teknikleri ve İşletme Uygulamaları*, İstanbul: Bilim Teknik Yayınevi, (1995).

Dorigo M., Maniezzo V. ve Colorni A., “Ant system: Optimization by a colony of cooperating agents,” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part B*, 26(1), 29–41, (1996).

Eryürük, S.H., “Clothing assembly line design using simulation and heuristic line balancing techniques”, *Refereed Research*, 22(4), 360-368, (2012).

Eryuruk, S. H., Kalaoglu, F. ve Baskak, M., “Assembly line balancing in a clothing company”, *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, 16, (1(66)), 93-98, (2008).

Eskandari, H., Mahmoodi, E. ve Fallah, H., “Performance analysis of commercial simulation-based optimization packages: Optquest and witness optimizer”, *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference (WSC)*, 2363-2373, (2011).

Esmailian, G.R., Sulaiman, S., Ismail, N., Hamedi, M. ve Ahmad, M.M.H.M. “A tabu search approach for mixed-model parallel assembly line balancing problem (type II)”, *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 8 (4), 407–431, (2011).

Fattahi, P. ve Roshani, A., “A mathematical model and ant colony algorithm for multi-manned assembly line balancing problem”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 53, 363, (2011).

Genç, M., “Montaj Hattı Dengeleme”,(15 Nisan 2020), <https://docplayer.biz.tr/19951670-Montaj-hatti-dengeleme.html>, (2016).

Gündoğdu, G.G., “Karışık modellenli montaj hattı dengeleme problemi ve bir işletmede uygulaması”, *Journal of Academic Value Studies*, 5(4), 651-665, (2019).

Güracar, B., “Genetik Algoritmalar”, (1 Haziran 2020), http://kergun.baun.edu.tr/20172018Guz/YZ_Sunumlar/Genetik_Algoritmalar_Busra_Guracar.pdf, (2018).

Groover, M.P., Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing, 2. Baskı, Prentice Hall, (2000).

Glover, F., “Future paths for integer programming and links to artificial intelligence”, Computers and Operations Research, 13, 533-549 (1986).

Gokcen, H. ve Erel, E., “A goal programming approach to mixed-model assembly line balancing problem”, International Journal of Production Economics, 48, 177–185, (1997).

Gokcen, H. ve Erel, E., “Binary integer formulation for mixed-model assembly line balancing problem”, Computers & Industrial Engineering, 34, 451–461, (1998).

Guerriero, F. ve Miltenburg, J., “The stochastic U-line balancing problem”, Naval Research Logistics, 50(1), 31-57, (2002).

Huo, J., Wang, Z., Chan, F. T. S., Lee, C. K. M. ve Strandhagen, J. O.,” Assembly line balancing based on beam ant colony optimisation”, Mathematical Problems in Engineering, 1-17, (2018), doi.org/10.1155/2018/2481435.

Haq, A. N., Jayaprakash, J. ve Rengarajan, K., “A hybrid genetic algorithm approach to mixed-model assembly line balancing”. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 28, 337–341, (2006).

Jaturanonda, C., Nanthavanij, S. ve Das, S.K., “Heuristic procedure for the assembly line balancing problem with postural load smoothness”, International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 19(4), 531-541, (2013).

Jha, P.S. ve Khan, M.S., “An experimental study on the automotive production line using assembly line balancing techniques”, International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET), 8(3), 22-33, (2017).

Jaganathan, V.P., “Line balancing using largest candidate rule algorithm in a garment industry: a case study”, International Journal Of Lean Thinking, 5(1), 25-35, (2014).

Jamil, M. ve Razali, N.M.” Simulation of assembly line balancing in automotive component manufacturing”, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 114, (2016).

Jaffrey, V., Mohamed, N. M. Z. N. ve Rose, A. N. M., “Improvement of productivity in low volume production industry layout by using witness simulation software”, 4th International Conference on Mechanical Engineering Research, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 257, (2017).

Karabati, S. ve Sayin, S., “Assembly line balancing in a mixed-model sequencing environment with synchronous transfers”, European Journal of Operational Research, 149 (2), 417–429, (2003).

Kayar, M. ve Akyalçın, Ö. C., “Applying different heuristic assembly line balancing methods in the apparel industry and their comparison”, FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe 2014, 22, 6 (108), 8-19, (2014).

Kayar, M. ve Akalin, M., “Comparing heuristic and simulation methods applied to the apparel assembly line balancing problem”, FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe 2016, 24, 2 (116), 131-137, (2016).

Kitaw, D., Matebu, A. ve Tadesse, S., “Assembly line balancing using simulation technique in a garment manufacturing firm”, Journal of EEA, 27,69-80, (2010).

Kim, Y. K., Song, W.S. ve Kim, J. H., “A mathematical model and a genetic algorithm for two-sided assembly line balancing”, Computers & Operations Research, 36 ,853 – 865, (2009).

Kim, Y. D. ve Yano, C. A., “A new branch and bound algorithm for loading problems in flexible manufacturing systems”, International Journal of Flexible Manufacturing Systems, 6, 361–381, (1994).

Kusiak, A., Boe, J. W. ve Cheng, C., “Designing cellular manufacturing systems: branch-and-bound and A* approaches”, IIE Transactions, 25(4), 46-56, (1993).

Küçükkoç, İ., “Montaj Hattı Tasarımı ve Analizi Ders Notları”, (1 Nisan 2020),

<http://ikucukkoc.baun.edu.tr/lectures/EMM4208/EMM4208MontajHattiBirsikNotlar.pdf>, (2020).

Kanduc, T. ve Rodic, B., “Optimization of a furniture factory layout”, *Croatian Operational Research Review CRORR*, 6, 121–130, (2015).

Leitold, D., Vathy-Fogarassy, A. ve Abonyi, J., “Empirical working time distribution-based line balancing with integrated simulated annealing and dynamic programming”, *Central European Journal of Operations Research*, 27, 455–473, (2019).

Lee, H. ve Kim, S. S., “Integration of process planning and scheduling using simulation based genetic algorithms”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 18 (8), 586-590, (2001).

Li, Y., Hu, X., Tang, X. ve Kuçukkoç, I., “Type-1 U-shaped assembly line balancing under uncertain task time”, *IFAC PapersOnLine*, 52 (13), 992-997, (2019).

Li, Z., Kucukkoç, I. ve Zhang, Z., “Branch, bound and remember algorithm for two-sided assembly line balancing problem”, *European Journal of Operational Research*, 284 (3), 896-905, (2020).

Lin, J. T. ve Chen, C. M., “Simulation optimization approach for hybrid flow shop scheduling problem in semiconductor back-end manufacturing”, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 51, 100–114, (2015).

Malik, A. ve Khod, U., “Experimental study for assembly line balancing using largest candidate rule algorithm in automobile lighting industries A case study”, *International Journal of Technical Research (IJTR)*, 5 (1), 63-67, (2016).

Neeraj, R. R., Pranav Nithin, R., Niranjhan, P., Sumesh, A. ve Thenarasu M., “Modelling and simulation of discrete manufacturing industry”, *Materials Today: Proceedings*, 5, 24971-24983, (2018).

Ogan, D. ve Azizoğlu, M., “A branch and bound method for the line balancing problem in U-shaped assembly lines with equipment requirements”, *Journal of Manufacturing Systems*, 36, 46–54, (2015).

Ozbakir, L., Baykasoglu, A., Gorkemli, B. ve Görkemli, L., “Multiple-colony ant algorithm for parallel assembly line balancing problem”, *Applied Soft Computing*, 11, 3186–3198, (2011).

Özcan, U., Cercioglu, H., Gokcen, H. ve Toklu, B., “A tabu search algorithm for the parallel assembly line balancing problem”, *Gazi University Journal of Science*, 22 (4), 313–323, (2009).

Özdemir, A. ve Demirer, B., “Analitik hiyerarşi süreci ile ağırlıklandırılmış dinamik programlama modelinin satın alma sürecine uygulanması”, AKÜ İİBF Dergisi,17 (1), 61-69, (2015).

Patır, S., “Dinamik programlama ve bir ecza deposunun şehir içi ilaç dağıtımına alternatifli bir çözüm önerisi”, Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi,23 (2), 63-79, (2009).

Peng, J., Liu, X. ve Xu, Z., “A novel approach for the assembly line balancing problem through in-tegration of genetic algorithm and simulation analysis”, Recent Patents on Engineering, 11(1), 68-77, (2017).

Roshani, A., Roshani, A., Roshani, A., Salehi, M. ve Esfandyari, A., “A simulated annealing algorithm for multi-manned assembly line balancing problem”, Journal of Manufacturing Systems, 32, 238– 247, (2013).

Sandanayake, Y. G., Oduoza, C. F. ve Proverbs, D. G. “A systematic modelling and simulation approach for JIT performance optimization”, Journal-Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 24, 735–743, (2008).

Seyed-Alagheband, S.A., Fatemi Ghomi, S.M.T. ve Zandieh, M., “A simulated annealing algorithm for balancing the assembly line type II problem with sequence-dependent setup times between tasks”, International Journal of Production Research, 49 (3), 805–825, (2011).

Simaria, A.S. ve Vilarinho, P., “The simple assembly line balancing problem with parallel workstations – A simulated annealing approach”, The International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice, 8 (3), 230-240, (2001).

Simaria, A. S. ve Vilarinho, P. M., “A genetic algorithm based approach to the mixed-model assembly line balancing problem of type II”, Computers & Industrial Engineering, 47, 391–407, (2004).

Sime, H., Jana, P. ve Panghal, D., “Feasibility of using simulation technique for line balancing in apparel industry”, Procedia Manufacturing, 30, 300-307, (2019).

Solimanpur, M. ve Jafari, A., “Optimal solution for the two-dimensional facility layout problem using a branch-and-bound algorithm”, Computers & Industrial Engineering, 55,606–619, (2008).

Suwannarongsri, S. ve Puangdownreong, D., “Balancing of U-shape assembly lines using tabu search method”, 2008 5th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, 2, 609-612, (2008).

Supçiller, A.A., “A novel line balancing problem: complex constrained assembly line balancing”, *Doktora, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, (2010).

Subaşı, H., “Tavlama benzetimi (simulated annealing) ile C-VRP (capacitated vehicle routing problem)”, (1 Haziran 2020), <http://hasansubasi.blogspot.com/2015/06/tavlama-benzetimi-simulated-annealing.html>, (2015).

Syahputri, K., Sari, R. M., Anizar, Rizkya, I., Leviza, J. ve Siregar, I., “Improving assembly line balancing using moodie young methods on dump truck production”, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 288, (2018).

Scholl, A. ve Boysen, N., “The multiproduct parallel assembly lines balancing problem: model and optimization procedure”, Working and Discussion Paper Series School of Economics and Business Administration Friedrich-Schiller-University Jena, ISSN 1864-3108, (2008).

Scholl, A. ve Boysen, N., “Designing parallel assembly lines with split workplaces: Model and optimization procedure”, International Journal of Production Economics, 119, 90–100, (2009).

Şahin, Y., “Sezgisel ve metasezgisel yöntemlerin gezgin satıcı problemi çözüm performanslarının kıyaslanması”, BAİBÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 19(4), 911-932, (2019).

Tripathy, P.K., Dash, R.K. ve Tripathy, C.R., “A dynamic programming approach for layout optimization of interconnection networks”, Engineering Science and Technology, an International Journal, 18 (3), 374-384, (2015).

Talbot, F.B. ve Patterson, J. H., “An integer programming algorithm with network cuts solving the assembly line balancing problem”, Management Science, 30, 85-90, (1984).

Thomopoulos, N. T., “Line balancing-sequencing for mixed-model assembly”, Management Science, 14, B59–B75, (1967).

Thomopoulos, N. T., “Mixed-model line balancing with smoothed station assignments”, *Management Science*, 16, 563–603, (1970).

Yagmahan, B. “Mixed-model assembly line balancing using a multi-objective ant colony optimization approach”, *Expert Systems with Applications*, 38, 12453–12461, (2011).

Yelkenci Köse, S., Demir, L., Tunalı, S. ve Türsel Eliyi, D., “Capacity improvement using simulation optimization approaches: A case study in the thermotechnology industry”, *Engineering Optimization*, 47 (2), 149-164, (2015).

Yücel, M. ve Ulutaş, A., “Dinamik programlamanın işçilik maliyetlerinin minimizasyonunda uygulanması”, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 15 (3), 271-290, (2010).

Yolmeh, A. ve Kianfar, F., “An efficient hybrid genetic algorithm to solve assembly line balancing problem with sequence-dependent setup times”, *Computers & Industrial Engineering*, 62, 936–945, (2012).

Yıldırım, M., “Sezgisel En İyileme Yöntemleri”, (3 Haziran 2020), <https://komhedos.com/sezgisel-en-iyileme-yontemleri/>, (2016).

Zheng, Q., Li, Y., Li, M. ve Tang, Q., “An improved ant colony optimization for large-scale simple assembly line balancing problem of type-1”, *Applied Mechanics and Materials*, 159,51-55, (2012).

Zhou, W., Li, S., Huang, Y. ve Wang, J., “Simulation-based planning of a kind of complex product general assembly line”, *Procedia CIRP*, 76, 25–30, (2018).

Zupan, H. ve Herakovic, N., “Production line balancing with discrete event simulation: A case study”, *IFAC-PapersOnLine*, 48 (3), 2305–2311, (2015).

8. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	:Gülşah ÇALIŞKAN
Doğum Yeri ve Tarihi	:Kastamonu 05/06/1991
Lisans Üniversite	:Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü
Elektronik posta	:gulsah-991@hotmail.com
İletişim Adresi	:Değirmenönü Mah. 1472 Sok. No:4/2 Merkezefendi /DENİZLİ