



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



MONTAJ HATTINDA KAPASİTE DENGELEME VE VERİMLİLİK ANALİZİ

MÜZEYYEN BURCU HIDIMOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Ferhat GÜNGÖR

İSTANBUL, 2019



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



MONTAJ HATTINDA KAPASİTE DENGELEME VE VERİMLİLİK ANALİZİ

MÜZEYYEN BURCU HIDIMOĞLU
(523214007)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Ferhat GÜNGÖR

İSTANBUL, 2019

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Müzeyyen Burcu HIDIMOĞLU'nun “**MONTAJ HATTINDA KAPASİTE DENGELEME VE VERİMLİLİK ANALİZİ**” başlıklı tez çalışması,2019 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Ferhat GÜNGÖR (Danışman)

Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü

(Üye)

Marmara Üniversitesi (İMZA).....

(Üye)

Marmara Üniversitesi (İMZA).....

ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun / /2019 tarih ve sayılı kararı ile Müzeyyen Burcu HIDIMOĞLU'nun Makine Mühendisliği Ana Dalı Makine Mühendisliği Programı'nda Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEŞEKKÜR

Bana tezimi tamamlama olanağı sağlayan tüm kişilere en derin teşekkürlerimi sunmak istiyorum.

Başta tezimin konusunun belirlenmesinde, tez çalışmam süresince beni yönlendiren, gerekli tüm ekipman-malzeme kullanımı konusunda cömert davranan ve araştırmalarım sırasında desteğini esirgemeyen, saygıdeğer tez danışmanım Sayın **Dr. Öğr. Üyesi Ferhat GÜNGÖR**'e, bana sağladığı destek ve ayırdığı değerli zamanı için minnettarım.

Hayatımın tüm alanında maddi-manevi hiçbir desteğini esirgemeyen, her zaman yanımda olan, bildiğim her şeyi öğrenmemi sağlayan ve yoğun çalışmalarım sırasında gösterdikleri sabır sebebiyle babam Sayın **Eyüp HIDIMOĞLU**, annem Sayın **Ülkü HIDIMOĞLU**, biricik kardeşim Sayın **Aslı Berfu HIDIMOĞLU**'na sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Tezimi, bu çalışma devam ederken kaybettiğim pekingese cinsi can parçam, **Cano**'m, kendimi her zaman huzurlu hissetmemi sağlayan pekingese cinsi güzel kızım **Jojo**'m başta olmak üzere can yoldaşlarımız olan evcil hayvanlara ithaf ediyorum.

Müzeyyen Burcu HIDIMOĞLU

İstanbul, 2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
SEMBOLLER	III
KISALTMALAR	IV
ŞEKİL LİSTESİ	V
TABLO LİSTESİ	VII
1. ÜRETİM KAVRAMI VE SINIFLANDIRILMASI.....	1
1.1. Üretim ve Üretim Yönetimi	1
1.2. Üretim Sistemleri	2
1.2.1. Geleneksel Üretim Sistemleri	6
1.2.2. Çağdaş Üretim Sistemleri	9
1.3. Akış Hatları ve Sınıflandırılması	10
1.4. İş İstasyonu Yerleşim Düzeninin Önemi	11
1.4.1. Tesis Düzenleme	11
1.4.2. İş Akışı	12
1.4.3. İş Yeri Düzenleme Tipleri	15
1.4.4. İş Yeri Düzenleme Tiplerinin Karşılaştırılması	20
1.5. Montaj Hattı Dengelemenin Önemi	22
2. MONTAJ HATTI DENGELEME	23
2.1. Montaj Hattı ve Montaj Hattı Dengeleme Kavramı	23
2.2. Montaj Hattı Dengeleme Problemleri	24
2.3. Montaj Hatlarının Dengelenmesinde Kullanılan Temel Kavramlar	24
2.3.1. İş Ögesi (Work Element)	24
2.3.2. İş İstasyonu	25
2.3.3. Toplam İş Süresi	25
2.3.4. İş İstasyonu Süresi	25
2.3.5. Çevrim Süresi (Cycle Time)	25
2.3.6. İhtiyaç Duyulan En Az İstasyon Sayısı	26
2.3.7. Ortalama İş İstasyonu Süresi	26

2.3.8.	Öncelik Diyagramı.....	27
2.3.9.	Öncelik Matrisi	27
2.3.10.	Esneklik Oranı.....	28
2.3.11.	Düzensizlik İndeksi	28
2.3.12.	Kuramsal Etkinlik (Teorik Etkinlik)	28
2.3.13.	Hat Etkinliği	29
2.4.	Montaj Hatlarının Dengelenmesini Etkileyen Ana Faktörler	29
2.5.	Montaj Hatlarının Dengelenmesindeki Amaçlar	30
2.6.	Montaj Hatlarının Dengelenmesindeki Kısıtlar	31
2.6.1.	Birincil Kısıtlar	31
2.6.2.	İkincil Kısıtlar	33
2.7.	Montaj Hatlarının Sınıflandırılması.....	34
2.7.1.	Yerleşim Şekline Göre Montaj Hatları	36
2.7.2.	Model Sayısına Göre Montaj Hatları.....	38
2.7.3.	Hattın Kontrol Yapısına Göre Montaj Hatları	39
2.7.4.	İşlem Zamanına Göre Montaj Hatları	40
2.7.5.	Otomasyon Düzeyine Göre Montaj Hatları	40
2.8.	Montaj Hattı Dengeleme Yöntemlerinin Tanımlanması.....	41
2.9.	Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinin Sınıflandırılması	41
2.9.1.	Probleme Göre Sınıflandırma	42
2.9.2.	Çözüm Yaklaşımına Göre Sınıflandırma.....	43
2.9.3.	İşlem Sürelerine Göre Sınıflandırma	45
2.10.	Literatür Araştırması.....	46
2.10.1.	1900-1964 Yılları Arasında Montaj Hattı Dengelenmesi Konusunda Yapılmış Olan Literatür Çalışmaları	46
2.10.2.	1965-1974 Yılları Arasında Montaj Hattı Dengelenmesi Konusunda Yapılmış Olan Literatür Çalışmaları	49
2.10.3.	1975-1984 Yılları Arasında Montaj Hattı Dengelenmesi Konusunda Yapılmış Olan Literatür Çalışmaları	51
2.10.4.	1985-1994 Yılları Arasında Montaj Hattı Dengelenmesi Konusunda Yapılmış Olan Literatür Çalışmaları	52
2.10.5.	1995-2004 Yılları Arasında Montaj Hattı Dengelenmesi Konusunda Yapılmış Olan Literatür Çalışmaları	56

2.10.6.	2005-2014 Yılları Arasında Montaj Hattı Dengelenmesi Konusunda Yapılmış Olan Literatür Çalışmaları	61
2.10.7.	2015-2019 Yılları Arasında Montaj Hattı Dengelenmesi Konusunda Yapılmış Olan Literatür Çalışmaları	66
3.	UYGULAMA.....	71
3.1.	Uygulamanın Amacı	71
3.2.	Uygulamanın Kapsamı	71
3.3.	Uygulama Yapılacak Ürün Hakkında Bilgi	72
3.4.	Uygulama Aşamaları	76
3.4.1.	Montaj Hattı Kapasite Dengeleme Öncesi Hat Analizi	76
3.4.2.	Montaj Hattı Kapasite Dengeleme Sonrası Hat Analizi	78
3.4.3.	Etkinlik Hesaplama İçin Oluşturulan İnternet Sayfası.....	81
3.4.4.	Montaj Hattı Kapasite Dengeleme Sonrası İşçilik Birim Maliyeti Analizi	88
3.4.5.	Montaj Hattı Kapasite Dengeleme Sonrası Genel Üretim Maliyeti Analizi.....	95
3.4.6.	Montaj Hattı Kapasite Dengeleme Sonrası Genel Birim Maliyeti Analizi	101
3.5.	Uygulama Sonucu ve Öneriler	105
	KAYNAKÇA	107

ÖZET

MONTAJ HATTINDA KAPASİTE DENGELEME VE VERİMLİLİK ANALİZİ

Firmaların rekabet güçleri, kaynakların verimli ve etkin biçimde kullanılması sonucunda belirlenmektedir. Kaynakların verimli ve etkin biçimde kullanılması, montaj hatlarında, iş yüklerinin, iş istasyonlarına dengeli bir şekilde dağıtılması sonucu mümkün olmaktadır. Montaj hattı dengeleme problemi, montaj hattı yapan işletmelerde, montaj işlemi sırasında, istasyonlar arasındaki öncelik ilişkileri dikkate alınarak iş istasyonlarında düzenleme yapılmasıdır.

Yapılmış olan çalışmanın, birinci bölümünde üretim ve üretim sistemleriyle ilgili bilgi verilmiştir. İkinci bölümde montaj hattıyla ilgili detaylı bilgi verilmiş, yapılan literatür çalışması detaylı olarak ifade edilmiştir. Üçüncü bölüm olan uygulama kısmında da, işletmedeki montaj hattının, kapasite dengeleme öncesinde ve sonrasında incelemesi yapılmış, bu dengelemeye istinaden de birim fiyattaki değişim analiz edilmiştir. Tezde yapılan bu uygulamanın amacı, montaj hattında yapılacak hat dengeleme sonucunda birim maliyetlerin düşürülmesidir. Birim maliyetlerin düşürülmesi için, montaj hattındaki kısıtlar göz önüne alınmış, bu kısıtlara göre de operatörler arasındaki brüt maaş farklılığı ve iş adımlarının süreleri karşılaştırılarak Excel üstünde hat dengelemesi yapılmıştır. Excel tabanlı yapılan bu dengeleme, bir internet sayfası üstünde kodlanarak (<https://verimlilikhesaplama.com/>) test edilmiş ve dengeleme sistemi de sistem internet tabanlı bir ortam üstünde de kurulmuştur. Birim maliyet iyileştirme çalışması da Excel üstünde yapılmış, matematiksel model oluşturularak gerçek sistem değerleri ile ilk durum ve oluşturulan diğer olası durumlar arasında farklılık gözlemlenmiştir. Ayrıca montaj hattı dengeleme sistemine ilişkin genel görüşler ve uygulama sonucunda alınan sonuçlara göre genel görüş ve önerilere de yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Montaj Hattı Dengeleme, Verimlilik, Etkinlik, Birim Maliyet Analizi, Kapasite Dengeleme.

ABSTRACT

CAPACITY BALANCING AND PRODUCTIVITY ANALYSIS OF THE ASSEMBLY LINE

The competitive power of firms is determined by the efficient and effective use of resources. Efficient and efficient use of resources is possible through a balanced distribution of workloads to workstations in assembly lines. The assembly line balancing problem is the arrangement of workstations in the assembly line enterprises, taking into account the priority relations between the stations during the assembly process.

In the first part of the study, information was given on production and production systems. In the second section, detailed information about the assembly line has been given. In the third part, the assembly line in the enterprise was examined before and after capacity balancing and the change in unit price was analyzed based on this balancing. The aim of this thesis is to reduce unit costs as a result of line balancing on the assembly line. In order to reduce unit costs, the constraints in the assembly line were taken into consideration and line balancing was performed on Excel by comparing the gross salary differences between the operators and the duration of the work steps. This balancing based on Excel has also been tested on a web page (<https://verimlilikhesaplama.com/>) and the balancing system has been installed on an internet-based environment. Unit cost improvement study was also done on excel and a mathematical model was created and a difference was observed between the actual system values and the other conditions. In addition, general opinions and suggestions regarding the assembly line balancing system and the results obtained from the application are also included.

Key Words: Assembly Line Balancing, Productivity, Efficiency, Unit Cost Analysis, Capacity Balancing.

SEMBOLLER

C	: Çevrim Süresi (Cycle Time)
C*	: Ortalama İş İstasyonu Süresi
D	: Denge Kaybı
Dİ	: Düzgünlük İndeksi
E	: Esneklik Oranı
HE	: Hat Etkinliği
KE	: Kuramsal Etkinlik
N	: Montaj Hattındaki Toplam İş Ögesi Sayısı
n	: Dengeleme Sonrasında Oluşan İş İstasyonu Sayısı
n_{min}	: Çevrim Süresinin (Cycle Time) Yarısından Fazla Süreye Sahip İş Ögesi Olduğunda İhtiyaç Duyulan En Az İstasyon Sayısı
n_{olası}	: Çevrim Süresinin (Cycle Time) Yarısından Büyük Süreye Sahip İş Ögesi Sayısı
T	: Kullanılabilir Üretim Süresi
t_{max}	: İstasyonlardaki En Büyük İşlem Süresi
t_i	: i. İstasyondaki İşlem Süresi
t_{max}	: İstasyonlardaki En Büyük İşlem Süresi
ÜS	: Üretilmek istenen Ürün Sayısı
Σ S_A	: Ürünün İş Ögesi Sonrası Gideceği Alternatif İş Ögesi Sayısı Toplamı

KISALTMALAR

BMHDP	: Basit Montaj Hattı Dengeleme Problemi
CAM	: Bilgisayar Destekli İmalat
CIM	: Bilgisayar Destekli Üretim Sistemleri
GSM	: Global Systems Mobile
İşçi Say.	: İşçi Sayısı
MAP	: Manufacturing Automation Protocol
MODICON	: Modular Digital Controller
Mak. Say.	: Makine Sayısı
MRP	: Malzeme İhtiyaç Planlaması
Ope. Sür.	: Operasyon Süresi
PERT	: Proje Değerlendirme ve Gözden Geçirme (Program Evaluation and Review Technique)
PLC	: Programmable Logic Controller
SALOME	: Simple Assembly Line Balancing Optimization Method
ÜPK	: Üretim Planlama ve Kontrol

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Genel Üretim Sistemi [1]	3
Şekil 1.2. Üretim Sisteminin Yönetimi [2]	4
Şekil 1.3. Üretim Sistemlerinin Sınıflandırılması [1]	5
Şekil 1.4. Kitle Üretim Sistemleri [1]	10
Şekil 1.5. Yatay İş Akışı Hat Tipi Örnekleri [5]	13
Şekil 1.6. Yatay İş Akışı Kombinasyonları [5]	14
Şekil 1.7. Dikey İş Akışı Hat Tipi Örnekleri [5]	14
Şekil 1.8. Yerleştirme Tiplerinin Başa Baş Noktası Analiziyle Karşılaştırılması [5]	15
Şekil 1.9. Prosese Göre Düzenleme Örneği [5]	16
Şekil 1.10. Mamule Göre Düzenleme Örneği [5]	18
Şekil 1.11. Grup Teknolojisine Göre Düzenleme Örneği [5].....	19
Şekil 2.1. Öncelik Diyagramı [1]	27
Şekil 2.2. Öncelik Matrisi [1].....	27
Şekil 2.3. Montaj Hatlarının Sınıflandırılması [1]	35
Şekil 2.4. Geleneksel Hatlar [1]	36
Şekil 2.5. U Tipi Hatlar [1].....	36
Şekil 2.6. Paralel Hatlar [1]	37
Şekil 2.7. Değişik Açılı Hatlar [5].....	38
Şekil 2.8. Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinin Sınıflandırılması [1]	46
Şekil 3.1. Kesici Uç İzometrik	72
Şekil 3.2. Torna Tutucu.....	73
Şekil 3.3. Vida.....	73
Şekil 3.4. Nihai Ürün.....	73
Şekil 3.5. Üretim Alanı Krokisi	74
Şekil 3.7. Etkinlik Hesaplama Sayfa Görüntüsü	81
Şekil 3.7. Etkinlik Hesaplama Sayfası İstasyon Sayısı Girişi	82
Şekil 3.8. Etkinlik Hesaplama Sayfası İstasyon Bilgisi	83
Şekil 3.9. Etkinlik Hesaplama Sayfası İstasyon Bilgisi Girişi	84
Şekil 3.10. Etkinlik Hesaplama Sayfası Sonuç Bilgisi.....	85
Şekil 3.11. Etkinlik Hesaplama Sayfası Maksimum Etkinlik Bilgisi	86
Şekil 3.12. Etkinlik Hesaplama Sayfası Maksimum Üretim Hacmi Bilgisi	87

Şekil 3.13. Etkinlik Hesaplama Sayfası Hesaplama Makine Bilgileri	88
Şekil 3.14. Etkinlik Hesaplama Sayfası Hesaplama Dengeleme Bilgileri	88

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1. Ürün İmal Klavuzu	75
Tablo 3.2. Kapasite Dengeleme Öncesi Hat Bilgisi	76
Tablo 3.3. Hat Dengeleme Öncesi Etkinlik ve Kapasite Hesaplaması	78
Tablo 3.4. Hat Dengeleme Öncesi Etkinlik ve Kapasite Hesaplaması (Özet).....	78
Tablo 3.5. Kapasite Dengeleme Yapabilmek İçin Eklenebilecek Makine Bilgileri	78
Tablo 3.6. Hat Dengeleme Sonrası Etkinlik ve Kapasite Hesaplaması	79
Tablo 3.7. Hat Dengeleme Sonrası Etkinlik ve Kapasite Hesaplaması (Özet).....	80
Tablo 3.8. İşçi Brüt Maaş Bilgileri	89
Tablo 3.9. İşçi-İş İstasyonu Yerleşim Düzeni Varyasyonları	89
Tablo 3.10. Birinci İşçi Yerleşim Sıralamasına Göre Toplam İşçilik Maliyeti	90
Tablo 3.11. İkinci İşçi Yerleşim Sıralamasına Göre Toplam İşçilik Maliyeti.....	90
Tablo 3.12. Üçüncü İşçi Yerleşim Sıralamasına Göre Toplam İşçilik Maliyeti.....	91
Tablo 3.13. Dördüncü İşçi Yerleşim Sıralamasına Göre Toplam İşçilik Maliyeti	91
Tablo 3.14. Beşinci İşçi Yerleşim Sıralamasına Göre Toplam İşçilik Maliyeti	91
Tablo 3.15. Altıncı İşçi Yerleşim Sıralamasına Göre Toplam İşçilik Maliyeti	92
Tablo 3.16. Birinci İşçi Yerleşim Sıralamasına Göre İşçilik Birim Maliyeti	93
Tablo 3.17. İkinci İşçi Yerleşim Sıralamasına Göre İşçilik Birim Maliyeti.....	93
Tablo 3.18. Üçüncü İşçi Yerleşim Sıralamasına Göre İşçilik Birim Maliyeti.....	93
Tablo 3.19. Dördüncü İşçi Yerleşim Sıralamasına Göre İşçilik Birim Maliyeti	94
Tablo 3.20. Beşinci İşçi Yerleşim Sıralamasına Göre İşçilik Birim Maliyeti	94
Tablo 3.21. Altıncı İşçi Yerleşim Sıralamasına Göre İşçilik Birim Maliyeti	94
Tablo 3.22. Dengelemede Kullanılacak Makinelerin Maliyeti.....	95
Tablo 3.23. Dengelemede Kullanılacak Makinelerin Birim Maliyetleri	95
Tablo 3.24. Amortisman Maliyetleri	96
Tablo 3.25. Amortisman Birim Maliyeti	96
Tablo 3.26. İş İstasyonuna Düşen Birim Amortisman Maliyeti	97
Tablo 3.27. İş İstasyonuna Düşen Elektrik Süresi	97
Tablo 3.28. İş İstasyonuna Düşen Elektrik Birim Maliyeti	98
Tablo 3.29. Endirekt Gider Birim Maliyeti	99
Tablo 3.30. İş İstasyonuna Düşen Endirekt Gider Birim Maliyeti	100
Tablo 3.31. Bakım-Onarım Birim Maliyeti	100

Tablo 3.32. İş İstasyonuna Düşen Birim Bakım-Onarım Maliyeti.....	101
Tablo 3.33. Sabit Ofis Giderleri.....	102
Tablo 3.34. Birim Ofis Maliyetleri	102
Tablo 3.35. Değişken Birim Maliyetler Özet (Malzeme Maliyeti Hariç).....	103
Tablo 3.36. Değişken Birim Maliyetler Özet.....	104
Tablo 3.37. Toplam Maliyet	104
Tablo 3.38. Birim Maliyetler Özet.....	105
Tablo 3.39. Değişim Özet	106

1. ÜRETİM KAVRAMI VE SINIFLANDIRILMASI

1.1. Üretim ve Üretim Yönetimi

İnsan ihtiyaçlarının tabiat tarafından tam anlamıyla karşılanmaması sonucunda ortaya çıkan ve beşeri faaliyetlerin tümüne üretim denir [1]. Üretim, yalnızca nihai mamul üretimi olarak değerlendirilmemelidir. Üretim, nihai ürüne ya da hizmete değer katmak ya da değerini arttırmak amacıyla ortaya konulan faaliyetlerdir. Bu sebeple, üretim kavramı günümüzde ekonomistler ve mühendisler tarafından ayrı ayrı tanımlanmaktadır [1].

Ekonomistler üretimi “Her türlü fayda yaratma, iktisadi mal veya hizmetler meydana getirme” şeklinde tanımlar [1]. Ekonomistlerin bu tanımının yanı sıra mühendisler üretimi; “Fiziksel bir varlık üzerinde onun değerini arttıracak değişiklik yapmayı ya da hammadde veya yarı ürünleri, kullanılabilir bir ürüne dönüştürme” olarak değerlendirirler [1]. Özetlemek gerekirse üretim; asıl gayesi topluma fayda ve değer katmak olan, insan ihtiyaçlarının tabiatın tam anlamıyla karşılanamaması neticesinde ortaya çıkan ve insanlar tarafından geliştirilen her türlü çaba olarak tanımlanabilir.

Üretim başlıca dört yolla gerçekleştirilir. Bu yöntemler şu şekilde gruplanabilir [1].

1. Biçim değişikliği (Ağaçtan kaleme, demirden bıçağa...)
2. Yer değişikliği (Bir yerden başka bir yere taşıma...)
3. El değiştirme (Ticaret...)
4. Zaman değişikliği (Soğuk hava depoculuğu...)

Günümüzde sürekli artan insan popülasyonunda, kıt kaynaklarla insan ihtiyaçlarını karşılamak için, ilerleyen teknolojik gelişmeler ve ülkeler arası ticaretin yoğunlaşması sonucunda yeni kavramlar ve çeşitli işlevler doğmuştur. Oluşan yeni kavramlar ve çeşitli işlevlere bağlı olarak her geçen gün artan yaşam standartları ürün yapısını gittikçe karmaşıktırıp ve çok miktarda üretilmesi zorunluluğunu ortaya çıkartmıştır. Çok miktarda ürünün üretilmesi için [2];

- Gerekli hammadde ve yarı mamullerin çeşitli kaynaklardan, en uygun fiyatlarla ve istenen sürede tedarik edilmesi,
- Her bir parçanın değişik spesifikasyona göre değerlendirilmesi,

- İşlenen parçaların, istenilen yerde yeterli miktarda hazır bulundurulması,
- Tüm etkinliklerin sahip olunan insan gücü ile makinelerden maksimum etkinlikle yararlanmak suretiyle son derece kısıtlı süre içinde gerçekleştirilmesi,

Gerekmektedir.

Üretimin asıl amacı; bir ürün veya hizmet yaratmaktır. Bu hedef doğrultusunda üretim yönetimi, ürün ya da hizmeti ortaya çıkartırken eldeki insan gücünden ve makinelerden maksimum fayda sağlayarak; minimum sürede ve minimum maliyetle yapılması olarak tanımlanabilir. Üretim yönetimiyle amaçlanan bu süreç sırasında israflardan arındırılarak sistemi sadeleştirmek, sunulan ürün ve hizmeti mükemmelleştirmek, planlama hataları, aşırı üretimi, beklmeleri ve gereksiz işleri azaltarak elde edilen kârı arttırmaktır. Üretim, ürün ve hizmetlerin oluşturulduğu süreç, üretim yönetimi ise ürün ve hizmetlerin ortaya çıkartılmasında kullanılan kaynakların ve ilgili sürecin optimize edilerek yönetilmesi şeklinde özetlenebilir.

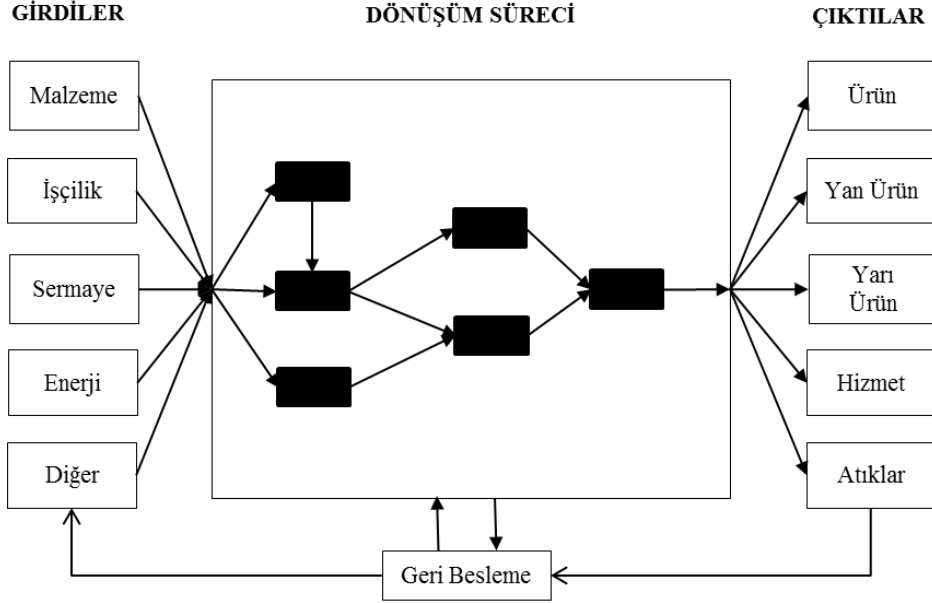
1.2. Üretim Sistemleri

Üretim sistemleri, işletmelerin belirlenen amaçlarına ulaşabilmesi için, girdilerin ilgili dönüştürme sürecini tamamlayıp çıktıya dönüştürülmesi sürecidir. Girdiler ülke bazında; doğa, işgücü ve sermaye (3M), işletme bazında; malzeme, işçilik, sermaye, enerji ve diğer öğeler olarak sıralanır [1]. Üretilen ürün ve hizmete göre; girdiler, farklı isimler alabilirler.

Üretim sistemleri sürecinde sisteme giren öge, oluşacak mamule ya da hizmete katma değer katar. Üretim sistemleri sürecinde; enerji, malzeme, insanlar ve diğer girdilerin, dönüşüm süreci gerçekleştirilerek çeşitli artıklar, hizmetler, yan ürün ve ürün gibi çıktılarına dönüşür. (Şekil 1.1.) Bu sürecini karakterize eden öğelerin, özelliklerine göre, dört tanesi önemlidir [2];

- **Verimlilik:** Birim girdi başına üretilen çıktıdır [2].
- **Etkinlik:** Üretim sisteminin amaçlarını gerçekleştirme derecesidir. Etkinlik, performans kelimesiyle anlamdaştır ve bu kelimeler birbiri yerine kullanılır [2].

- **Kapasite:** Üretim sisteminin birim zamanda gerçekleştirebileceği en büyük üretim süresidir. Birim zamanda üretilen miktar olarak ifade edilir [2].
- **Esneklik:** Ani talep değişimlerine karşı üretim sisteminin yeni ürün üretimine kolay geçebilmesi olarak tanımlanır [2].



Şekil 1.1. Genel Üretim Sistemi [1]

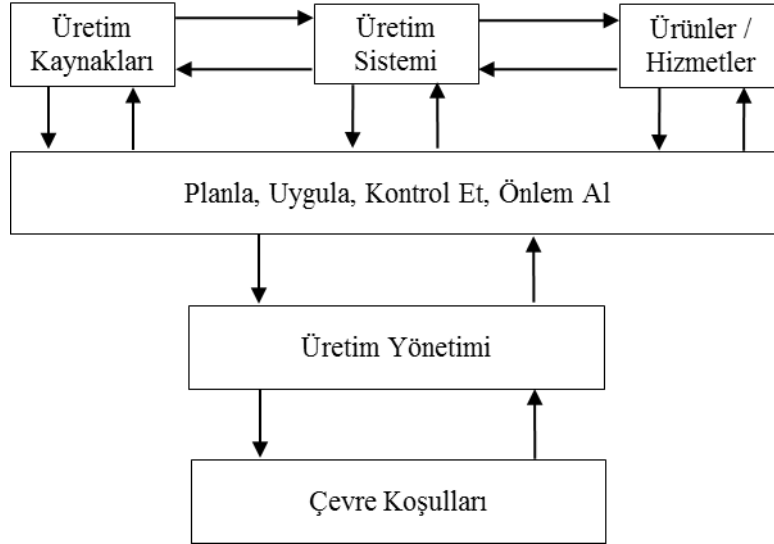
Üretimde oluşan verilerin aktarılamaması ve işlenememesi geri bildirim sürecini aksatır. Ancak üretim sisteminin en önemli ögesi geri bildirimdir. Üretim sisteminin tüm adımlarında bulunan “geliştir” basamağının temeli aslında tamamıyla geri bildirime bağlıdır [1]. Geri bildirimin çalışmaması, zaman içinde üretimin fiilen kontrol altına alınamaması sonucunu doğurmakta ve fiziken kontrolsüz bir güç oluşturmaktadır. Tüm üretim sistemlerinin işletmenin belirlemiş olduğu ortak amaca ulaşmak için uymak olduğu nokta ise; tüm stokları/kaynakları etkin kullanmaktır.

Üretim sonucu elde edilen çıktılar ürün ve/veya hizmet olabilmektedir. Ürünler, somut olarak ortaya çıkan nihai ürünlerdir ve ölçümlenebilirler. Hizmet ise genellikle üretildiği an tüketildiği için ölçümlemesi zordur.

Üretim sistemi, şirket organizasyonu yapısının bir parçası olmakla beraber, şirketin diğer departmanları tarafından verdiği kararlardan da etkilenir. Ayrıca, çeşitli dış çevresel etmenler de şirketi, dolayısıyla da üretimi doğrudan etkilemektedir. Çevresel etmenlerden

en önemlileri ekonomik koşullar, yasal koşullar, teknolojik gelişmeler, rakip ve rekabet koşullarıdır.

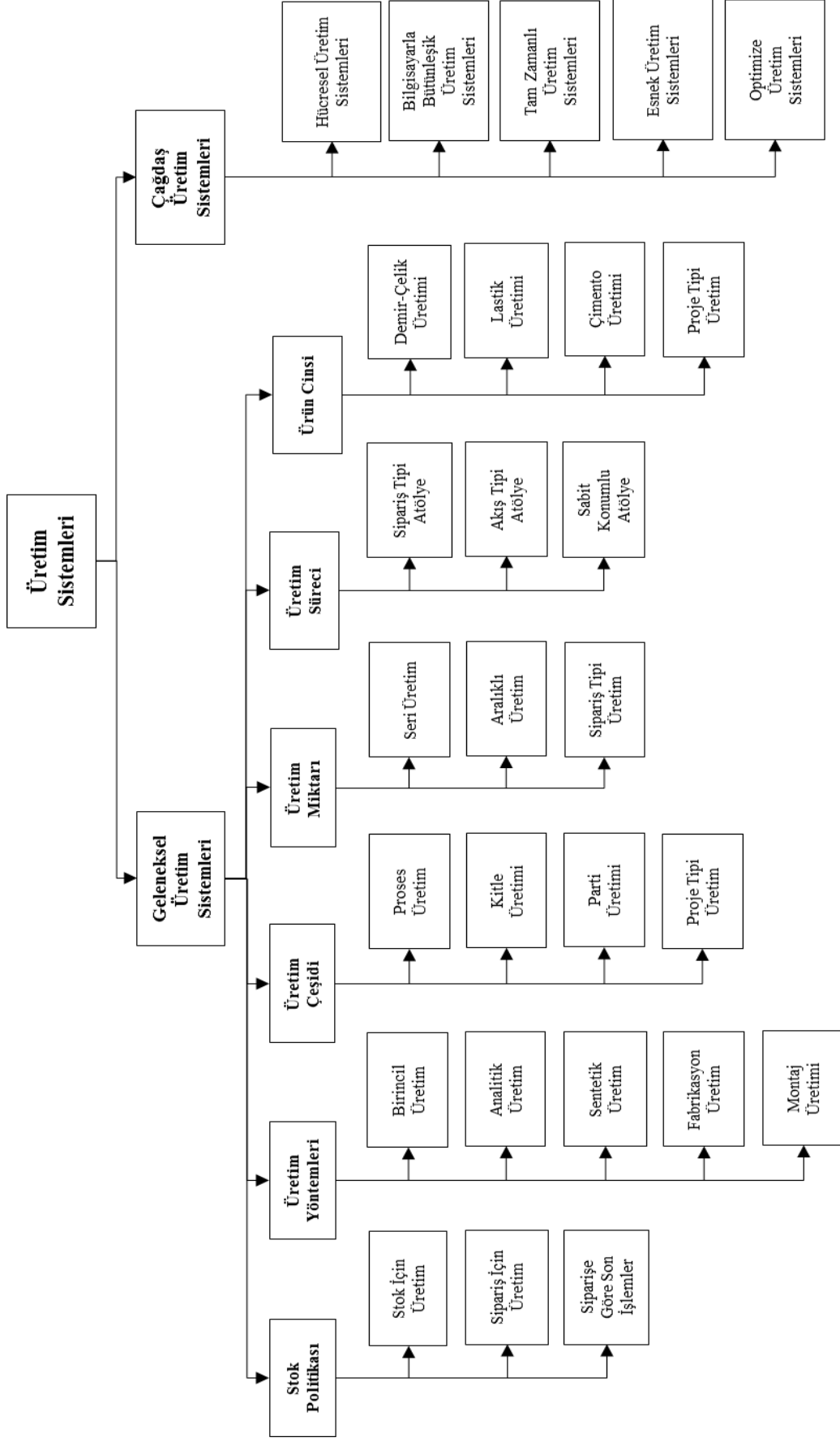
Belirlenen bu kısıtlar, son yüzyılda artan tüketici istekleri ve işgücü yapısı, sermaye kaynakları, sosyal gelişmeler, bilişim ve endüstri sektörlerinin olabildiğince yaklaşması sebebiyle üretim yönetimi özel bir önem kazanmıştır.



Şekil 1.2. Üretim Sisteminin Yönetimi [2]

Üretim sistemi tüm öğeleriyle birlikte Şekil 1.2. 'de görülmektedir.

Üretim sistemlerinin tipinin belirlenmesi üretim planlamasının ilk aşamasıdır. Üretim sistemleri tipi, işletme içindeki fabrika ve işgücü düzenlemeleriyle belirlenir. Üretim sistemleri, tarihsel gelişimlerine göre, geleneksel ve çağdaş üretim sistemleri olarak iki ana başlık altında incelenebilir. Üretim sistemlerinin sınıflandırılması alt başlıklarıyla birlikte Şekil 1. 3.'te şematik olarak belirtilmiştir.



Şekil 1.3. Üretim Sistemlerinin Sınıflandırılması [1]

1.2.1. Geleneksel Üretim Sistemleri

1.2.1.1. Stok Politikasına Göre Sınıflandırma [1]

Stok politikası genel olarak, üretilen ürünün tüketim hızı, mevcut veya siparişe istinaden müşteriye teslim edileceği belli olan stok miktarları arasındaki orandan anlamlı sonuç elde etmeye çalışır. Stok politikası, firmanın üretim tipini belirler. Üretim tipinin belirlenmesindeki en önemli işlevlerse; müşterinin istediği teslim zamanı ve müşterinin istediği ürün üzerindeki özelleştirmelerdir [1].

Her grup için üretim sürecinin toplam uzunluğu siparişin geldiği andan itibaren aşağıdaki şekilde hesaplanır; [1].

$$\text{Toplam Süre} = \text{Ön İmalat Süresi} + \text{Montaj Süresi} \quad (1.1)$$

Teslim zamanı ve özelleştirme değerlerine bağlı olarak, üretim, imalatın akış şemasına ve uygulanan sınıflandırma; üç ana başlık altında incelenebilir [1].

- **Stok İçin Üretim:** Olası müşteri siparişinde talebi hızlı şekilde karşılayabilecek durumda olan üretim tipidir. Ürün, daha önceden üretilmiş ve sipariş alındığı gibi müşteriye teslim edilecek durumdadır. Ürün üzerinde müşterinin istediği özelleştirme yapılmamış, standart şekilde ürünün üretimin gerçekleştiği durumda bu tip üretim geçerlidir. Bu üretim sistemine örnek olarak, cıvata, somun, çimento ve kömür gibi malzemelerin üretimi verilebilir [1].
- **Sipariş İçin Üretim:** Üretilcek olan ürünün özelliği ve miktarı tamamen müşterinin vermiş olduğu siparişe göre belirlenen üretim tipidir. Ürün üzerinde mutlaka müşterinin talep ettiği bir özelleştirme gerçekleşmiştir. Bu üretim sisteminde elde bulunan hammadde işlenir. Sonrasında işlenen parçalar bir araya getirilerek üretim gerçekleşir. Bu üretim sistemine tekstil sektörü örnek verilebilir [1].
- **Siparişe Göre Son İşlemler:** Sipariş için ve stok için üretim sistemlerinin bir arada kullanılması olarak düşünülebilir. Üretim sistemi olarak sipariş için üretim sistemi başlığında değerlendirilebilecek olsa da; montajda kullanılan malzemeler ve diğer bileşenler, başka bir firmadan hazır olarak sağlandığı için

stoğa üretimle birlikte değerlendirilir. Siparişe göre son işlemler standart ürünleri veya model bazı farklılıkları bulunan ürünlerin üretimi için kullanılabilir. Örnek olarak elektronik cihazların üretimi verilebilir [1].

1.2.1.2. Üretim Yöntemlerine Göre Sınıflandırma [1]

Üretim yöntemlerine göre sınıflandırma; beş ana başlık altında incelenebilir [1].

- **Birincil Üretim:** Tabiatta bulunan hammaddelerin işlenmek ya da kullanılmak üzere çıkarılmasıyla gerçekleşen üretim çeşididir [1].
- **Analitik Üretim:** Ana hammaddelerin bir kısmı sonrasında ayırıcı işlemlerle parçalanıp işlenerek çeşitli mamullere dönüştürüldüğü üretim çeşididir [1].
- **Sentetik Üretim:** Tabiattan temin edilen ana hammaddelerin bir kısmı birleştirici çeşitli malzemelerle yeni mamullere dönüştürülür [1].
- **Fabrikasyon Üretim:** Anaya da diğer hammaddelerden biçim verme yoluyla yeni mamuller elde edilmesidir [1].
- **Montaj Üretimi:** Yarı mamullerin, çeşitli hammaddelerin ve parçaların nihai mamulü üretebilmek için belirli bir sırayla bir araya getirilerek bir ürün elde edilmesidir. Beyaz eşyalar, binek araçlar montaj üretimi kullanılarak üretilen ürünlerden bazılarıdır. Montaj üretiminde en önemli olan unsur; özellik ve miktar olarak yüksek adetlere ulaşan üretim elemanlarının en ekonomik şekilde birleştirilmesidir [1].

1.2.1.3. Üretim Çeşitlerine Göre Sınıflandırma [1]

Üretim çeşitlerine göre sınıflandırma; dört ana başlık altında incelenebilir [1].

- **Proses Tipi Üretim:** Üretim sırasında kullanılan malzemelerin akışkan (sıvı) olduğu üretim şeklidir. Çeşit miktarı yüksek olmayan benzer ürünlerin, yüksek miktarda üretilir. Bu üretim çeşidinde ürün tipi az, üretim hacmi çok yüksektir. Müşteri istekleri stoktan karşılanır. Müşteriden sipariş beklemezsizin üretim stok için yapılır [1].
- **Kitle Üretimi:** Üretilen ürüne göre, üretim hatlarının kurulduğu üretim şeklidir. Bu üretim sisteminde kitleler halinde fazla yüksek adetlerde üretim gerçekleşir. Bu üretim hatlarındaki makineler ve tezgâhlar özel amaçlıdır [1].

- **Parti Üretimi:** Üretilen mamulün sürekli talebi ya da özel siparişi karşılamak gayesiyle, daha önceden belirlenen miktarlardan oluşan partiler halinde üretilmesidir. Belirli miktarlardan oluşan bu partilerde aynı tür malzeme üretilir. Parti değişiminden sonra, ürün tipinde de değişiklik görülür [1].
- **Proje Üretimi:** Üretilcek ürünün yer değiştirmedeği durumlarda kullanılan üretim şeklidir. Müşterinin isteği doğrultusunda ürün tasarımı gerçekleşir. Tüm iş akışı ve kullanılan malzemeler, söz konusu ürün etrafında döner [1].

1.2.1.4. Üretim Miktarlarına Göre Sınıflandırma [1]

Üretim miktarlarına göre sınıflandırma; üç ana başlık altında incelenir [1].

- **Seri (Sürekli) Üretim:** Üretim adedi çok yüksek olan ancak ürün çeşitliliği az miktarda çeşitlilik gösteren ürünler için uygulanan üretim şeklidir. Seri üretimde, birbirinden bağımsız operasyon sıralarına ve yardımcı üretim araçlarına gereksinim duyan, farklı mamullerin üretiminde oluşan zorluklar yoktur [1].
- **Aralıklı Üretim:** Sürekli talebi ya da belirli siparişi karşılamak için benzer ya da aynı çeşitten ürünler, partiler halinde üretildiği üretim şeklidir. Bir partinin üretimi bitmeden, diğer partinin üretimine başlanmaz. Parti büyüklüğü ve parti adetlerinin belirlenmesi en büyük sorundur [1].
- **Sipariş Tipi Üretim:** Üretim adedinin az olduğu ancak ürün çeşitliliğinin yüksek miktarda olduğu ürünler için uygulanan üretim şeklidir. Talep düzeyine ve talep düzenine bağlı olarak; az miktarda ürünün tek bir kez üretilmesi, az sayıda ürünün talebi oldukça belirli aralıklar üretilmesi ve az sayıda ürünün istem oldukça belirsiz aralıkla üretilmesi şeklinde üç şekilde gerçekleşir [1].

1.2.1.5. Üretim Sürecine Göre Sınıflandırma [1]

Üretim sürecine göre sınıflandırma; üç ana başlık altında incelenebilir [1].

- **Sipariş Tipi Atölye:** Genel amaçlı takım tezgâhlarının kullanıldığı üretim şeklidir. Üretim, makinelerden boş olanlarda ya da eğer boş makine yoksa makine arkasında kuyruğa alınan farklı siparişlerin sisteme alınmasıyla gerçekleşir [1].
- **Akış Tipi Atölye:** Sisteme giren birimlerin ardışık olarak aynı sıradaki etkinliklerle üretildiği üretim şeklidir. Her tezgâhın işlemi için belirlenen süre,

üretim sırasında hazır olarak daha önceden hesaplanarak ayrılmıştır. Bu hesaplamanın önceden belirlenmesi sayesinde ara bekleme ve duraklama süreleri minimuma indirilmiştir. Ara depolardaki yığılmalar ve boş beklemler işlem süreleri aralarındaki farklardan oluşur [1].

- **Sabit Konumlu Atölye:** Bu sistemde tüm üretim etmenleri, sabit olan ürünün yanına getirilmekte ve üretim sabit olan ürün etrafında gerçekleşmektedir [1].

1.2.1.6. Üretim Sürecine Göre Sınıflandırma [1]

Üretilen mamulün cinsinin imalat sistemi yapısının belirlenmesinde daha çok ağırlık taşıdığı sınıflandırmadır. Kullanılan makineler, fabrika binasının yapısı, insan gücü yapısı, belirli tip bir mamule göre oluşabilir [1]. Demir-çelik fabrikası, lastik üretimi çimento üretimi ve sadece proje bazında gerçekleştirilen üretimler bu grupta incelenebilir.

1.2.2. Çağdaş Üretim Sistemleri

1.2.2.1. Hücresel Üretim Sistemi

Akış tipi üretimin ürüne göre ve atölye tipi üretimin de işleme göre düzenleme yapılarının belirli niteliklerinden faydalanarak geliştirilen üretim sistemidir. Bu sistemler, benzer üretim özelliklerine sahip bazı parça gruplarının ayrı yerlerde üretimi için işlem, makine ile insan gruplarının bir araya gelerek oluşturduğu sistemlerdir [1].

1.2.2.2. Bilgisayarla Bütünleşik Üretim Sistemleri

İmalat fonksiyonlarının tamamının bilgisayar aracılığıyla bütünleşmesidir. Programlanabilir (Logic) devrelerle (PLC) her türlü imalat işlemleri bilgisayar kontrollü yapılabilmektedir [1].

1.2.2.3. Tam Zamanlı Üretim Sistemi

Toyota firmasının seri üretim akışı sağlamak hedefiyle oluşturduğu üretim sistemidir. Sonraki iş istasyonu, kendinden önceki iş istasyonundan gereksinimlerini çeker. Bu şekilde sondan başa doğru veri akışı, baştan sona ise malzeme akışı vardır. Bu üretim sisteminde en sondaki istasyonun sipariştten haberdar olması yeterlidir [1].

1.2.2.4. Esnek Üretim Sistemleri

Merkezi kontrol sistemiyle birbirine bağlanmış bir grup sayısal kontrollü tezgâh, depolama donanımı ve otomatik taşımayla yapılan üretim sistemidir. Farklı bir parça işlendiğinde her defasında hazırlık süresinin minimuma indirilmesi, esnek üretim sisteminin ana karakteristiğidir [1].

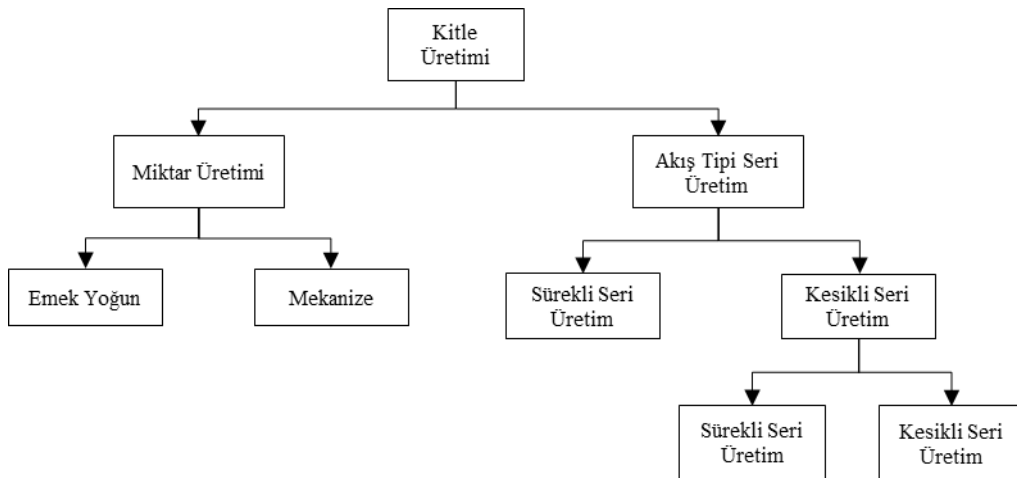
1.2.2.5. Optimum Üretim Teknolojisi

İşletmedeki bütün iş merkezleri için kapasite ile öncelik kısıtlarını göz önüne alarak optimuma yakın iş çizelgesi oluşturmayı sağlayan üretim sistemidir. Gaye kritik (darboğaz) tezgâhların kullanımını en yüksek olacak şekilde üretim miktarına oluşturmak ve bu sebeple de süreç içi stok düzeyleriyle tezgâh hazırlık zamanlarını minimuma indirmektir [1].

1.3. Akış Hatları ve Sınıflandırılması

Seri üretim sistemlerinin kullanıldığı işlemlerdeki üretim hatları, aynı zamanda akış hatları olarak düşünülebilir. Ürünün, üzerinde üretilebilmesi için, toplam iş yükünün, hattı oluşturan iş istasyonlarında olabildiğince dengeli olarak dağıtılması gerekmektedir. Ürünün akış halinde olması ve birbirlerinin yerine geçebilen parçaların kullanılması karışık birimlerin üretilmesi için oldukça önemlidir.

Kitle üretim sistemleri, miktar üretimi ve akış tipi seri üretim olarak iki ana başlıkta incelenir. Bu başlıklar da aşağıdaki şemada gösterilmiştir (Şekil 1.4.) [1].



Şekil 1.4. Kitle Üretim Sistemleri [1]

Sanayi devriminde insan gücünün azalarak daha çok makineleşmeye gitmesi sebebiyle, 18. ve 19. Yüzyıllarda daha çok torna gibi üretim elemanlarının yaygın olarak kullanılması sonucu büyük miktarlarda üretim gerçekleşmeye başlamıştır. Bu sebeple, tek parçalı basit ürünlerin çok miktarlarda üretilmesi miktar üretimini oluşturur. Miktar üretimi, emek yoğun ve mekanize üretim olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu ayrım elde edilen ürünün üretim aşamasının nasıl gerçekleştiğine yönelik ayrılmaktadır.

Akış tipi seri üretimler, kitle üretimlerinin ikinci aşamasını oluşturmaktadır. Bu aşamada daha karmaşık ürünler üretilmeye başlanmıştır. Karmaşık yapıda olan ürünlerin bir akış doğrultusunda üretilmesi sebebiyle akış tipi seri üretim ismini almıştır. Tarihsel gelişime göre; sürekli seri akış üretimi, kesikli seri akış üretimi ve akış tipi seri üretim olarak ayrılmaktadır. Kesikli seri üretim sisteminde benzer ürünler, belirli bir akışta ve partiler halinde üretilmektedir. Sürekli seri akış üretiminde de, daha çok aynı ürünlerin parti üretimi olmaksızın belirli bir akışta üretilmesidir.

Günümüzde çoğunlukla kesikli seri üretim sistemi kullanılmaktadır. Kesikli seri üretimde; akış hatlarının, etkin şekilde kullanılması için hat dengesi, ürün sunumu ve iş akış diyagramlarının çıkartılması önemli yer teşkil etmektedir.

1.4. İş İstasyonu Yerleşim Düzeninin Önemi

1.4.1. Tesis Düzenleme

Üretim araçları, yardımcı tesisler, depolama, taşıma, kalite kontrolü... Gibi üretimle ilgili fiziksel faaliyetlerin tümünün; mamulün sipariş süresi içinde, en ekonomik, en kolay ve en kusursuz bir şekilde üretmek amacıyla, fabrika içindeki konumları açısından tüm olarak koordinasyonuna **tesis düzenleme** denir. Bir işletmedeki departmanların, departmanlar içinde yer alan iş istasyonlarının, iş gruplarının, makinelerin ve hammadde ya da mamul stok bulundurma noktalarının yer belirleme süreci **iş yeri düzenleme** olarak tanımlanmaktadır [3].

Büyük ölçekte değerlendirildiğinde fabrika, küçük ölçekte bakıldığında da iş yeri düzenlemenin ana amacı; üretim faaliyetlerinin gerçekleştiği alan içinde üretimde doğrudan kullanılan malzeme ve yarı mamullerin, doğrudan üretimde kullanılmayan ancak maliyetinin nihai mamul maliyetini etkileyen endirekt üretim malzemelerinin, nihai

mamullerin, işçilerin, makinelerin... Kısacası fabrika içinde yer alan canlı ya da cansız tüm varlıkların hareket miktarını en aza indirmektedir. Yerleştirme düzeninin hatalı olması sabit tesis maliyetini arttırmakla beraber, enerji kaybı, gecikme, yönetim ve kontrol güçlüğü, kapasitenin doğru ölçülememesi/yeterli kullanılamaması... Gibi pek çok soruna sebep olmaktadır [4].

Yerleşim düzeninin hatalı olduğunun belirtileri aşağıdaki gibi sıralanabilir [5].

1. Yarı mamul, malzeme ve parçaların gereksiz yerlerde yığılması.
2. İş akışı, malzeme ve işçilerin kontrolünde etkisiz kalınması.
3. İşçinin fiziksel ya da mental olarak normal iş yükünü kaldıramaması.
4. Üretim periyodunun uzaması, sipariş tesliminde gecikmeler.
5. Kalifiye işçilerin gereksiz taşıma işlerini yapması ve boş beklemesi.
6. İş akışında; tıkanmalar, gecikmeler, parça beklemler, tezgâhların boş durması veya aşırı yüklenmesi durumları ile sık karşılaşılması.
7. Fabrika alanında bir kargaşa ve telaş havasının hakim olması.
8. Fabrika alanından nitelikli bir şekilde yararlanamama.

Malzeme taşıma sistemi, malzeme ihtiyaç planlaması, zamanlama, ulaştırma kaynağının kontrolü, malzeme taşıma ekipmanı, malzeme teslimi, malzemenin tamponlanması ve optimizasyonundan oluşur. Etkin malzeme elleçleme, üretim süreci boyunca malzemelerin depolanması, kontrol edilmesi ve kullanılması etkinliğini artırırken, etkisiz malzeme kullanımı, sistemin boştaki kalan kısmından, uzun kuyruk süresinden ve tamponlarda aşırı malzeme birikmesi sonucu kâr kaybına yol açabilir. Bir şirketin üretim sürecinin performansı, malzeme taşıma sisteminin etkinliği ile sıkı bir şekilde ilgilidir. Bu nedenle, bu araştırma malzemelerin hareketlerini analiz etmek ve üretim sürecine iyileştirmeler yapmak için önerilmektedir.

1.4.2. İş Akışı

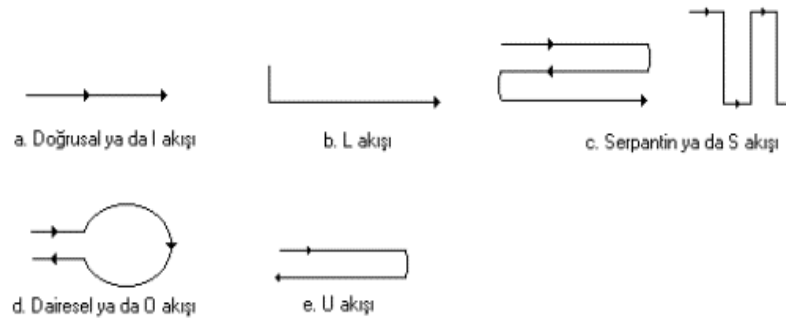
Mevcut yerleşim düzeninin incelenmesinde ya da yeni yerleşim düzeninin oluşturulmasında; üretimde doğrudan kullanılan malzeme ve yarı mamullerin, doğrudan üretimde kullanılmayan ancak maliyetinin nihai mamul maliyetini etkileyen indirekt üretim malzemelerinin ve nihai mamullerin fabrika içindeki akışı önemli ölçüde etkilemektedir. Genel olarak; malzeme, yarı mamul ve diğer üretimde ya da üretim

sisteminde kullanılan parçaların akışı, veri olarak kabul edilir. Bina ve/veya tesislerin düzenlenmesi, bu verilere göre gerçekleşir. Ancak bazı durumlarda da bina ya da tesisler veri olarak kabul edilir. Bu durumda da, iş istasyonu yerleri ve malzeme akışının nasıl gerçekleşeceği araştırılır.

Fabrikanın tek ya da çok katlı olmasına göre iş tipleri, yatay iş akışı ve düşey iş akışı olarak iki grupta toplanabilir.

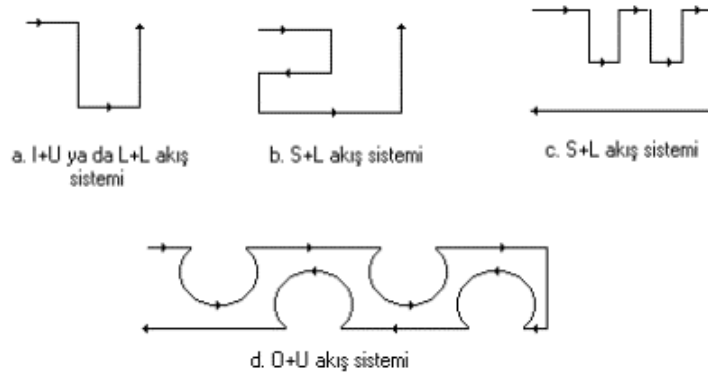
1.4.2.1. Yatay İş Akışı

Tesis içindeki iş akışının yatay doğrultuda olduğu iş akış türü “yatay iş akışı” adını almaktadır. Bu iş akış türünde, bina tek kat üzerine inşa edilmiştir. Planlama daha kolay yapılmaktadır. L akış hattı, I akış (doğrusal) hattı, O akış (dairese) hattı, U akış hattı, S akış hattı veya serpantin, yatay yönlü akış hatlarına örneklerden bazılarıdır (Şekil 1.5.) [5]. Ağır makinelerin kullanıldığı üretim faaliyetlerinde, yatay iş akışı tercih etmek taşıma masraflarını minimum düzeyde tutmaktadır.



Şekil 1.5. Yatay İş Akışı Hat Tipi Örnekleri [5]

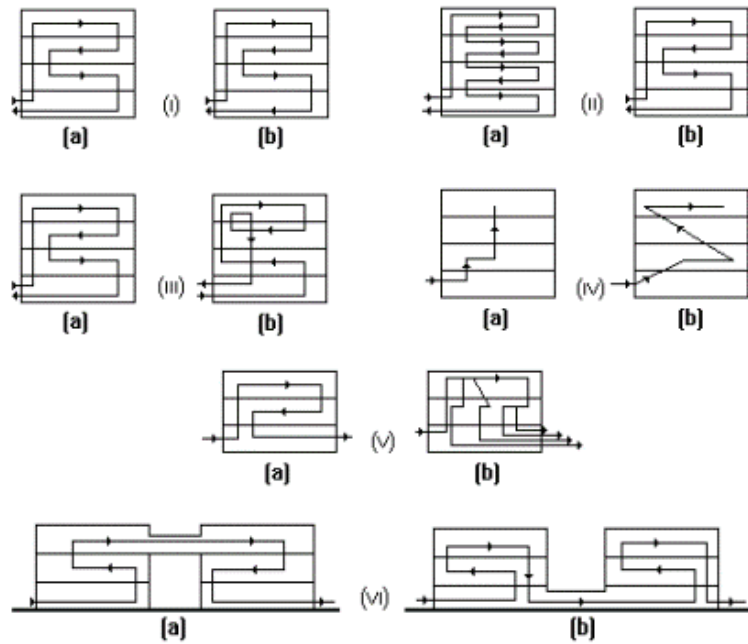
Yatay iş akışı tiplerinden bazı örneklerde görülmektedir. Harflerle belirtilen ana iş akış tipleri, çeşitli varyasyonlarla bir araya getirmek mümkündür (Şekil 1.6).



Şekil 1.6. Yatay İş Akışı Kombinasyonları [5]

1.4.2.2. Dikey İş Akışı

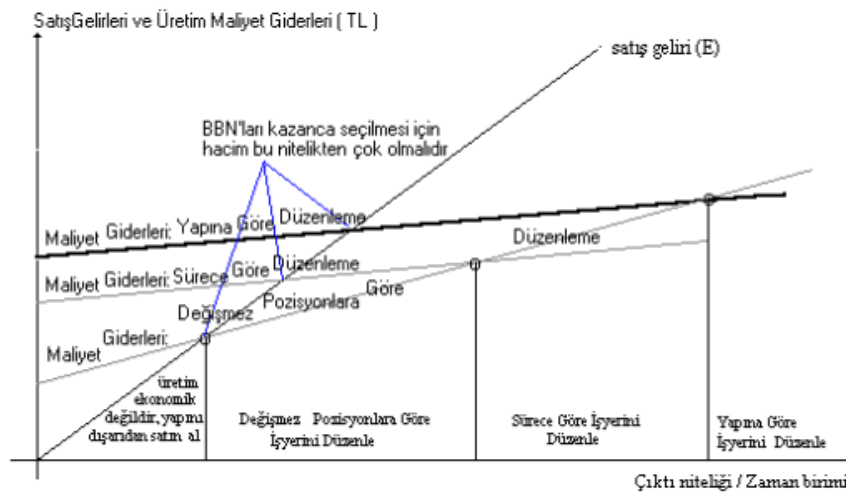
Tesis içindeki iş akışının dikey doğrultuda olduğu iş akış türü **dikey iş akışı** adını almaktadır. Bu iş akış türünde, bina çok katlıdır. Bu tip iş akışında, hareket yönü, yukarıya veya aşağıya doğru, tek yönlü veya geri dönüşlü, dikey veya eğimlidir [5]. Merkezi veya merkezi olmayan kaldırma sisteminde, tekil ya da çoğul akış gerçekleşmektedir [5]. Yapay gübre, rafineri, çimento gibi sanayi dallarında fabrika binaları üretim sürecinin yapısından dolayı olarak birden fazla katlı olurlar. Üretim faaliyetlerinde aşırı büyük makinelerin kullanıldığı iş alanlarında çok katlı binalar hem taşıma hem de inşaat masrafları yüksek olmaktadır [5].



Şekil 1.7. Dikey İş Akışı Hat Tipi Örnekleri [5]

1.4.3. İş Yeri Düzenleme Tipleri

Tesiste üretilecek mamule bağlı olarak iş yeri yerleştirme tipleri değişiklik göstermektedir. Uygun yerleştirme tiplerinin belirlenmesi için, stoklar, etkinlik, taşıma maliyetleri ve kontrol kolaylığı gibi kriterlerden yararlanılır. Yerleşim tipinin belirlenmesinde önemli olan üretim faaliyetlerinin olabilecek en uygun maliyetle gerçekleşmesinin sağlanmasıdır. En uygun maliyetli yerleşim düzeninin seçimi, başa baş noktasının analizi ile gösterilebilir [5].



Şekil 1.8. Yerleştirme Tiplerinin Başa Baş Noktası Analiziyle Karşılaştırılması [5]

Temel iş yeri düzenlemesi türleri 5 ana başlık altında toplanmıştır [5].

1. Prosese Göre (Fonksiyonel) İş Yeri Yerleştirme
2. Mamule Göre İş Yeri Yerleştirme
3. Sabit Pozisyonlu Mamule Göre İş Yeri Yerleştirme
4. Hücresel Düzenleme ve Grup Teknolojisine Göre İş Yeri Yerleştirme
5. Hibrit Düzenlemeye Göre İş Yeri Yerleştirme

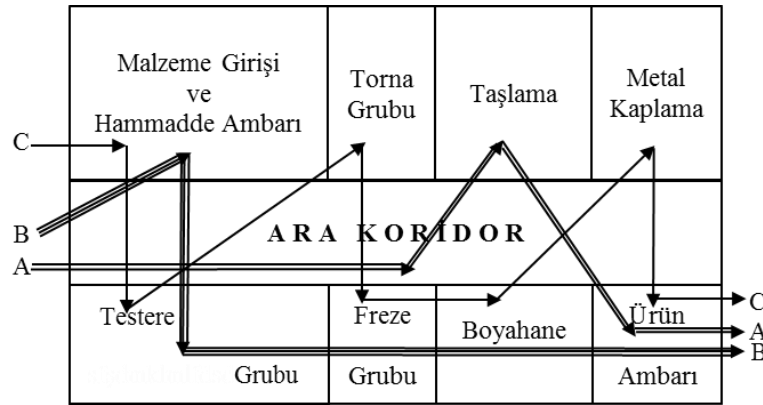
1.4.3.1. Prosese Göre (Fonksiyonel) İş Yeri Yerleştirme

Aynı işlemleri yapan makinelerin ya da benzer donanıma, benzer fonksiyonlara sahip makinelerin bir araya toplandığı iş yeri düzenine **prosesse göre (fonksiyonel) iş yeri yerleştirme** denir [5]. Bu yerleştirme tipindeki en önemli problem, iş istasyonlarının birbirine göre konumunu belirlemektir. Bu iş yeri düzenine örnek olarak; frezeleme, delme, taşlama, ambalajlama... Gibi bölümler gösterilebilir.

Prosesse göre yerleştirme [5];

- Çok çeşitli olmayan, benzer ya da siparişe göre yapılan mamullerin üretilmesi,
- Az sayıda ve üretimi uzun süren mamullerin üretilmesi,
- Hareket etüdü ve zaman etüdü yapmanın zor olduğu,
- İş istasyonlarında yer alan işçilerin ve makineler arasında denge sağlanması güç olduğu,
- Birbiri ardına gelen iş istasyonlarında ürün kontrollerinin fazla olduğu,
- Üretilen mamulün ve üretim sırasında kullanılan malzemelerin taşınmasının güç olduğu,
- Birden fazla proses için aynı makine ya da iş istasyonunun sık kullanılma zorunluluğu olduğu durumlarda,
- Mamul için küçük ya da kesikli üretim gerçekleştiği,

Durumlarda kullanılabilir.



Şekil 1.9. Prosese Göre Düzenleme Örneği [5]

Genellikle sipariş tipi üretimlerde tercih edilen bu yerleşim düzeni, işçi sayısının yetersiz olduğu durumlarda üretimin aksamaması, üretim planının ve üretilecek ürün adedinin değişmesi durumlarında kolayca aksiyon alınabilmektedir. Gerçekleşen bu değişiklikler, diğer iş yeri düzenlemelerine göre daha düşük maliyetlerle gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca prosese göre yerleştirilen iş yerlerinde üretim planlaması daha basit olmakta olup, makine ve insan gücü kullanımı esnektir. İş istasyonlarında gerçekleşen herhangi bir arıza durumunda, iş, başka tezgâha aktarılarak, üretimin aksaması önlenabilir.

Prosesle göre iş yeri yerleştirmenin başlıca olumsuz yanları da, üretim kontrolünün karışık olması, yarı mamul stok miktarının fazla olması sebebiyle stok maliyetlerinin yüksek

olması, malzemelerin taşıma miktarlarının fazla olması sebebiyle taşıma maliyetlerinin yüksek olması, üretim planlamasının doğru yapılmaması durumlarında, makine ve iş gücünün boş kalma süresinin yüksek olması olarak sıralanabilir.

1.4.3.2. Mamule Göre İş Yeri Yerleştirme

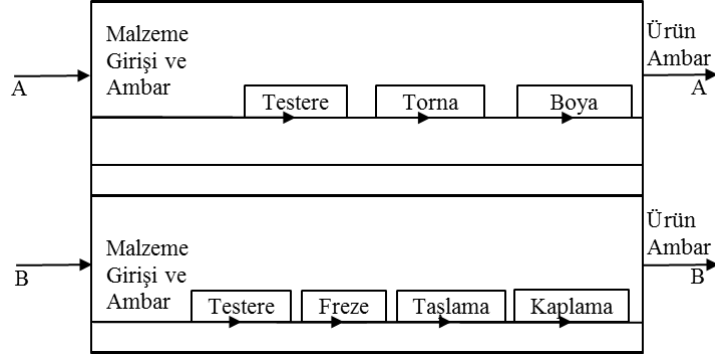
İş istasyonlarının, malzemedan, mamulün nihai şeklini aldığı hale gelinceye kadar izlediği yola göre, iş istasyonlarının işlem sırasına göre dizildiği iş yeri düzenleme tipine **mamule göre iş yeri yerleştirme** denir. Bu iş yeri yerleştirmede amaç, alan kullanımı maksimum ve malzeme hareketi minimum düzeyde tutmaktır.

Mamule göre yerleştirme [5];

Çok çeşitli olmayan mamullerde,

- Çok sayıda ve üretimi uzun süren mamullerin üretilmesinde,
- Hareket etüdü ve zaman etüdü yapmanın mümkün olduğu,
- İş istasyonlarında yer alan işçilerin ve makineler arasında denge sağlandığı,
- Birbiri ardına gelen iş istasyonlarında ürün kontrollerinin az olduğu durumlarda,
- Üretilen mamulün ye üretim sırasında kullanılan malzemelerin taşınmasının mümkün olduğu,
- Birden fazla iş için, aynı makine ya da iş istasyonunun kullanılma durumunun olmadığı,
- Nihai ürünün için seri üretim gerçekleştiği,

Durumlarda kullanılabilir.



Şekil 1.10. Mamule Göre Düzenleme Örneği [5]

Mamule göre iş yeri düzenlenmesi iş akışı daha düzenli olmakta ve buna bağlı olarak da iş istasyonları arasında taşımalar daha azdır. İş akışına göre istasyonlar düzenlenmiş olduğu için; üretim planlama diğer iş yerleştirme düzenlerine göre daha basit olmakta buna bağlı olarak da yarı mamul stokları daha az oluşmakta ve istasyonlardaki akışın gözlemlenmesi ve kontrolü daha kolaydır.

Mamule göre iş yeri yerleştirmenin başlıca olumsuz yanları da, nihai mamulde yapılacak değişikliklerde, istasyon sıralamasında değişiklik yapılması gerekmektedir, istasyonlarda yaşanabilecek makine arızalarında, eğer makine ve yedek mamul cinsinden stok yoksa bütün hattın durma ihtimali vardır. Ayrıca, bu yerleştirme düzeninde, ürüne sürekli talep olması gerekmektedir.

1.4.3.3. Sabit Pozisyonlu Ürüne Göre İş Yeri Yerleştirme

Üretilcek ürünün istasyonlar arası taşınamayacak kadar büyük ya da ağır olması halinde makinelerin üretilcek ürünün veya mamulün çevresine yerleştirildiği iş yeri düzenlemesine **sabit pozisyonlu ürüne göre iş yeri yerleştirme** denir [5]. Bina yapımı, uçak ve gemi gibi büyük yapıların üretiminde, bu yerleştirme tiplerine uygun yerleşim düzeni vardır.

Sabit pozisyonlu ürüne göre yerleştirme [5];

- Nihai mamulden yalnızca bir ya da birkaç adet üretildiği,
- Üretilen mamulün taşınmasının mümkün olmadığı ya da taşıma maliyetinin çok yüksek olduğu,
- İşlem ve biçim verme, yalnızca basit el aletlerine ve basit makinelere gerek gösterdiği,

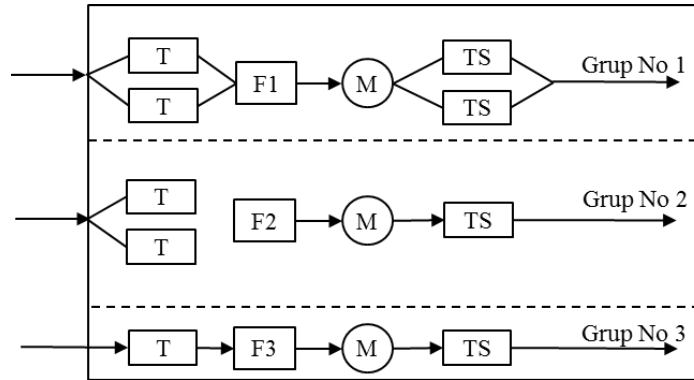
Durumlarında kullanılabilir.

Sabit pozisyonlu ürüne göre iş yeri düzenlenmesinde, malzeme hareketleri en azdır. Bu iş yeri yerleştirme sistemi ekip çalışmasına uygundur ve iş istasyonlarındaki işçiler birbirinden bağımsız çalıştığı için toplam üretim süresini kısaltacak çalışmalar yapılması mümkündür.

Sabit pozisyonlu ürüne göre iş yeri yerleştirmenin başlıca olumsuz yanları da, mamulün yanına makine ve teçhizatın taşınma maliyeti yüksek, yerleştirilmesi pahalı olabilir. Ayrıca istasyonlarda çalışan işçiler kalifiye olmak zorundadır.

1.4.3.4. Hücresel Düzenleme ve Grup Teknolojisine Göre İş Yeri Yerleştirme

Mevcut üretim sistemini, çeşitli alt sistemlere bölerek parçaları benzer işlem ya da geometrik özelliklerine göre gruplar halinde sınıflandırıldığı, sonrasında sınıflandırılan bu ailelere uygun olarak seçilen makine gruplarında üretim gerçekleştirilmesine **grup teknoloji** denir [5].grup teknolojisine göre yapılan düzenlemeler belirli hücreleri oluşturmaktadır. Bu hücrelerde, hücre içine giren malzemeleri kendine yetecek şekilde üretecek şekilde tesis ve birim düzenlemesi yapılmıştır. Bir üretim hücresinde bir araya getirilmiş makineler, malzemeler, işçiler, taşıma üniteleri ve tüm sistemi yöneten merkezi kontrol ünitesinden oluşmaktadır.



Şekil 1.11. Grup Teknolojisine Göre Düzenleme Örneği [5]

Bu üretim sisteminde atölye tipi üretiminin üretim çeşitliliği ve seri üretimdeki etkinlik avantajları birleştirmek amaçlanmıştır. Temel hedefi, bulunan sistem içinde benzer üretim işlem özelliklerine sahip, parça ailesi ve makine gruplarını veya hücrelerini

belirlemek, belirlenen hücrelere uygun yerleşim düzenlemesiyle parça ailelerini işleyerek, iş parçası akışlarını daha kolay hale getirmektir [5].

Hücreyel düzenleme ve grup teknolojisine göre iş yeri yerleştirmedeki ana amaç, fabrikada yer alan malzeme akış sisteminin basit iş akışıyla makine önündeki bekleme zamanını kısaltarak ya da bekleme zamanını tamamen ortadan kaldırarak proses içi stok maliyetlerinin düşmesi ve daha az sürede tamamlanan üretim temin sürelerine ulaşması sağlanmaktadır [5]. Buna bağlı olarak sağladığı diğer avantajlar da, malzeme stoğunda azalma, kalitede artış, çalışma alanlarındaki depo alanlarının azaltılması, baştanbaşa yerleştirme zamanının kısaltılması, makinelerin etkin kullanımı ve taşıma maliyetlerinin azalması, iş akış sürelerinde azalma olarak sıralanabilir.

Hücreyel düzenleme ve grup teknolojisine göre iş yeri yerleştirmenin başlıca olumsuz yanları da, hücrelere göre yapılan ayırım sonucunda fazla sayıda makine ihtiyacının olması, hücrelere ayrılma sırasında uygun tekniğin belirlenmesi için yapılan analizler ve bazı durumlarda makinelerin yeniden düzenlenmesinin maliyetinin yüksek olması olarak sıralanabilir.

1.4.3.5. Hibrit Düzenlemeye Göre İş Yeri Yerleştirme

Üretilen ürüne göre, üretim alanında çeşitli iş yerleştirme tipi kombinasyonunun yapıldığı iş yeri düzenlenmesine **hibrit düzenlemeye göre iş yeri yerleştirme** denir. Bu düzenleme, tek bir düzenleme tipinin tek başına işletme ihtiyacını karşılayamaması durumunda ortaya çıkmıştır. Örneğin mobilya üretiminde, levha ürünleri üretimi işlemlerinde, işlemler ürüne göre düzenlemeyle gerçekleştirilirken masif üretim prosese göre düzenlenmektedir [5]. Bu düzenleme sayesinde, levha ürünleri üretiminde akış tipi avantajından yararlanılırken, masif üretimde çeşitlilik sağlanmaktadır[5].

1.4.4. İş Yeri Düzenleme Tiplerinin Karşılaştırılması

Her iş yeri yerleştirme tipinin olumlu ve olumsuz yanları bulunmaktadır. Bu karşılaştırmayı yapabilmek için, yapılan analizler sayısal verilere dönüştürülmeli ve bu sonuçlar analiz edilmelidir. İş yeri düzenleme tipleri, biçim verme ve işlem için ve montaj için yerleştirme olarak iki ana başlıkta incelenmektedir.

1.4.4.1. Biçim Verme ve İşlem İçin İş Yeri Yerleştirme

Biçim verme ve işlem için prosese göre iş yeri yerleştirmenin olumlu yanları; makinenin daha iyi kullanılması ile daha değişik makine yatırımı yapılması, değişik türden mamuller için işlemlerin sırasında değişiklikler yapılabilmesi, kesikli taleplere, değişen üretim çizelgelerine uyarlanabilmesi, çalışanların her birinin performanslarını yükseltmeleri için teşvik edici olması, makine ve donanımın arızalandığında, malzemelerin eksik olduğunda, işçiler eksik olduğu durumlarda üretimin sürekliliğini korumak kolay olması olarak sıralanabilir [5].

1.4.4.2. Montaj İçin İş Yeri Yerleştirme

Montaj için sabit pozisyonlu ürüne göre yerleştirmenin olumlu yanları; mamullerde ya da mamul tasarımında ve işlemlerin sırasında sık değişikliklere izin vermesi, montaj noktasına çok sayıda parça taşınması nedeniyle ana montaj parçalarının taşınmasının azaltılması, değişik tür mamule ve kesikli talebe izin vermesi, daha fazla esnek olması, çok iyi organize edilmiş veya pahalı tesis planlama çalışmaları, üretim planlama veya sürekliliğin kesilmesinde tedarik planlamaya gerek kalmaması, yüksek nitelikli işçilerin işlerini belirli noktada bitirmelerini sağlar ve kalite sorumluluğunu bir işçi veya bir montaj grubu üzerine yüklenmesi olarak sıralanabilir [5].

Montaj için ürüne göre yerleştirmenin olumlu yanları da; parçaların montaj noktasına daha az taşınması, montaj bölgesi civarında daha az kalabalık, daha az mekânsal boşluk, yapılan işte daha çok uzmanlaşmak, eğitim kolaylığı ve daha çok iş gücü arzı yoluyla daha ucuz işgücü, işyeri düzenleme planlandığında ve denetimler organize edildiğinde daha kolay gözetim, özelleştirilmiş montaj donanımının hareketinin azaltılması, işlem gören malzemenin miktarının azalması nedeniyle üretim süresinin kısalması ve malzeme yatırımlarının düşmesidir [5].

Belirtilen yararları ölçümlemek ve iş yerinin düzenlenmesi için yapılacak analizler uzun sürmekte ve süreç çok da kolay ilerlememektedir. Belirtileni maddelerin ölçümü çok zordur. Ancak bu maddeler içinde ölçümü diğerlerine göre daha kolay olan taşıma maliyetidir. Prosese göre yerleştirmede yapılan hatalar sebebiyle ortaya çıkan maliyetlerde taşımanın payı yüksektir. Bu sebeple araştırmada genellikle malzeme taşımaları tek faktör olarak göz önüne alınır. Alternatif çözümlerin sayısı taşıma

maliyetlerine göre şekillenir. Alternatif çözümler, taşıma maliyetleri arasında küçük farklar bulunması halinde diğer faktörlerin son seçimdeki rolü önem kazanır.

1.5. Montaj Hattı Dengelemenin Önemi

Günümüz dünyasında işletmelerin büyük bir bölümü montaj yoluyla üretim yapmaktadır. İstenilen ürünü en uygun maliyetle ve talebe en uygun şekilde gerçekleştirmesi, firmalara ciddi bir rekabet avantajı getirmektedir. Üretim taleplerinin her geçen gün artmasından dolayı, montaj hatları, fazla miktarlarda siparişleri, minimum maliyetle, istenen kalitede ve talep edilen sürede üretilmesi, amaçlanan seri üretim sistemlerinin değiştirilemez bir parçası durumuna getirmiştir. Bu sebeple, montaj hatları, seri üretim sistemlerinin esas ögesi olarak düşünülebilir.

Kaynakların verimli ve etkin biçimde kullanılması montaj hatlarında, iş yüklerinin, iş istasyonlarına dengeli bir şekilde dağıtılması sonucu mümkün olmaktadır. Bu sebeple, montaj hattı dengeleme çalışmaları üretim kapasitesinde ve etkinlik artışının yanı sıra, ürün maliyetlerinde ciddi oranda iyileşme sağlamaktadır.

2. MONTAJ HATTI DENGELEME

2.1. Montaj Hattı ve Montaj Hattı Dengeleme Kavramı

Ürünler genellikle birden fazla malzemenin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Çoğu zaman da birçok alt malzemelerinin birleştirilmesiyle ürün oluştuğu durumlar olabilir. Malzemelerin, iş akış hattı boyunca iş gücü ya da donanımdan yararlanarak transfer edildiği ve parça üzerindeki işlemlerin; aralarındaki kısıtlar göz önüne alınarak birleştirilmesiyle oluşturulan istasyonların, yine bir hat boyunca sıralanmasıyla oluşan sisteme **montaj hattı** denir [1]. Hat üzerindeki iş istasyonlarında bulunan işçiler, ürün durumuna getirilecek yarı ürün önlerinden geçerken, kendilerine ait iş ögeleriyle ilgili bir veya birkaç işlemi yaparlar. İlgili işlem neticesinde, montaj hattına giren parça, malzeme ve yarı ürünler, gereken bütün işlemler yapıldıktan sonra hattın nihai ürün olarak çıkarlar [1].

Montaj hattının verimli olarak çalışması için; mevcut kısıtlar altında, işlem sayısının fazla ve üretim hızının yüksek olması sebebiyle iş istasyonları arasındaki süre farkı en aza indirgenmelidir. İstasyonlara dağıtılan ve süre olarak en aza indirgenmek istenen bu işlemlerin, istasyonlardaki makineler başındaki montaj personeline hiç süre bırakmayacak şekilde montaj hattının düzenlenmesi gerekmektedir. Bu şekilde, montaj hattının iş istasyonlarındaki süreleri en aza indireyecek şekilde düzenlenmesine **montaj hattı dengeleme** denir [1].

Üretimde, tezgâhlar ve modern montaj makineleri kullanıldığında, piyasanın ya da müşterilerin siparişlerin tümüne hitap eden ürünleri istenilen miktarda hızlıca üretmek mümkün olmaktadır. Üretim şeması ya da montaj hatlarındaki düzenlemelerle daha verimli üretim yapılması mümkün olmaktadır.

Hat dengeleme, hat boyunca birbirini izleyen işlemlerin her birinin çıktısının, iş istasyonunda geçen sürelerindeki eşitliğini belirtir. Eğer tüm süreler eşitse; tam anlamıyla dengeye sahip olduğu söylenebilir. Tüm süreler eşit değilse; hattaki bütün olarak olası en yüksek miktardaki çıktı, sıradaki en yavaş işlem tarafından belirlenecektir. Bu yavaş işlem çoğu zaman **darboğaz işlemi** olarak adlandırılır. Darboğaz işlemi dışında diğer tüm işlemlerde boşa harcanmış kapasite ortaya çıkar [1].

2.2. Montaj Hattı Dengeleme Problemleri

Yapılması gerekli olan iş ögeleri ve bu iş ögelerinin süreleri belirlendikten sonra, iş ögeleri arasındaki öncelik ilişkileri dikkate alınarak, iş ögelerinin bir ya da birden çok performans ölçütünü optimize edecek şekilde sıralı iş istasyonlarına atanması problemi montaj hattı dengeleme problemidir [1].

Montaj hattı dengeleme problemlerinde, üretim süresinin belirlenmesi ve kaynakların verimli kullanılmasına yönelik çözüm arar.

Montaj hattı üzerindeki tüm iş istasyonlarının işlem süreleri, hattın çevrim süresine (cycle time) eşit olduğu zaman, montaj hattı dengelenmiştir. Dengeleme yapılmamış montaj hatlarında, iş istasyonlarındaki boş süreler fazla, iş istasyonu arasındaki dağılım dengeli olmadığı için işgücünden etkin kullanım oranı azdır.

Montaj hattı dengeleme probleminin çözümlediği konular süre ve kaynak kullanımı etkilemektedir. Süre ve kaynak kullanımı da doğrudan ürün maliyetini, müşteri talebinin doğru ve zamanında kullanılmasını etkileyen unsurlar olduğu için, montaj hattı dengeleme problemi, üretim açısından büyük önem taşımaktadır. Üretim miktarları ve rekabet arttığından kaynakları etkin kullanarak taleplere zamanında karşılık vermek üretim hatlarının tasarlanması ve dengelenmesinin önemini arttırmaktadır.

2.3. Montaj Hatlarının Dengelenmesinde Kullanılan Temel Kavramlar

Montaj hattı dengelemesinde kullanılan ana kavramlar aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir [1];

2.3.1. İş Ögesi (Work Element)

İmalat zamanında, toplam işin, bölünmüş olan mantıksal her bir parçasına **iş ögesi (work element)** denir [1]. Fakat bazen mantıksal olarak birden fazla en küçük iş ögeleri de bir iş ögesi olarak tanımlanabilir. Toplam işin kaç aşamada tamamlanacağı, bu aşamaların hangi birimler olacağını önceden belirleyen, işi anlamlı minimuma indirgeme çalışmalarıdır. Bir iş ögesinin gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan süreye **işlem süresi** denir. “i” ile gösterilir [1].

$$t_i = \text{İş Ögesi İşlem Süresi}$$

2.3.2. İş İstasyonu

Operatörün, bir işlem için gerekli araç ve makinelerle çalıştığı alana **iş istasyonu** denir [1]. Her iş istasyonunda, ürün, bir öncekinden farklı işlem görerek değer kazanmakta ve bir sonraki iş istasyonuna hazırlanmaktadır. Aynı işi yapan birden fazla makine tek bir iş istasyonu içinde bulunabilir. İş istasyonlarındaki iş ögeleri, genellikle iş operatörleri tarafından gerçekleştirilir. Otomatik hatlarda ise, insan yoğun çalışma gücü daha düşüktür.

2.3.3. Toplam İş Süresi

Üretimi yapılacak ürünün montajı için gerekli olan sürenin toplamına **toplam iş süresi** denir. İşi oluşturan tüm ögelerin standart sürelerinin toplamı olarak hesaplanabilir [1].

N = Montaj Hattındaki Toplam İş Ögesi Sayısı

t_i = i No'lu İş Ögesinin İşlem Süresi

$$\sum_{i=1}^N t_i \quad (2.1)$$

2.3.4. İş İstasyonu Süresi

Bir montaj hattı sisteminde, iş istasyonuna gelen parçanın, istasyona geliş anından, işlemi tamamlanıp istasyondan çıkış anına kadar geçen süre farkına **iş istasyonu süresi** denir. İstasyondaki iş ögelerinin standart süreleri toplamı olarak da hesaplanabilir [1].

2.3.5. Çevrim Süresi (Cycle Time)

Bir montaj hattı sisteminde, iş istasyonunda yapılması gereken işlerin tamamlaması için gerekli olan süreye **çevrim süresi (cycle time)** denir. Belirlenen üretim süresi içinde hedeflenen üretim miktarına dakikada kaç ürün üretilmesi gerektiğinin hesaplanmasıdır [1].

C = Çevrim Süresi (Cycle Time)

T = Kullanılabilir Üretim Süresi

$ÜS$ = Üretilmek İstenen Ürün Sayısı

$$C = \frac{T}{\sum S} \quad (2.2)$$

2.3.6. İhtiyaç Duyulan En Az İstasyon Sayısı

Bir montaj hattı sisteminde, her istasyona, çevrim süresinin (cycle time) maksimum şekilde oluşturulduğu durumlarda ihtiyaç duyulan optimum istasyon sayısının hesaplanmasıdır [1].

n_{olasi} = Çevrim Süresinin Yarısından Büyük Süreye Sahip İş Ögesi Sayısı

C = Çevrim Süresi

t_i = i No'lu İş Ögesinin İşlem Süresi

$$n_{olasi} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{C} \quad (2.3)$$

Çevrim süresinin (cycle time) yarısından büyük süreye sahip iki iş ögesi aynı istasyona atanamazlar. Aynı istasyonda olma durumunda çevrim süresi (cycle time) aşılmış olur. Çevrim süresinin (cycle time) aşılmış olduğu durumda hattı dengelemek için lazım olan minimum iş istasyonu adedi, gerekli olan optimum iş istasyonu sayısının ve çevrim süresinin (cycle time) yarısından büyük süreye sahip olan iş ögesi sayısı değerlerinden en büyüğü olarak hesaplanır [1].

n_{min} = Çevrim Süresinin (Cycle Time) Yarısından Büyük Süreye Sahip İş Ögesi Olduğunda İhtiyaç Duyulan En Az İstasyon Sayısı

$$n_{min} = \max (n_{min}; n_{olasi})$$

2.3.7. Ortalama İş İstasyonu Süresi

İş istasyonu sayısının toplam iş süresine oranlandığında, her bir iş istasyonu için elde edilen ortalama süreye **ortalama iş istasyonu süresi** denir [1].

C^* = Ortalama İş İstasyonu Süresi

C = Çevrim Süresi

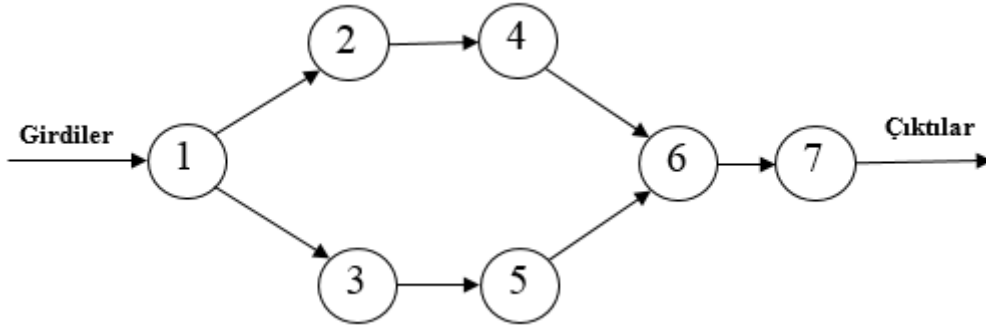
n = Dengeleme Sonucunda Elde Edilen İş İstasyonu Sayısı

t_i = i No'lu İş Ögesinin İşlem Süresi

$$C^* = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{n}, \quad n \geq n_{\min}, C \geq C^* \quad (2.4)$$

2.3.8. Öncelik Diyagramı

Bir montaj hattı sisteminde, öncelik ilişkileri doğrultusunda ürünün tamamlanması için gereken işlemleri gösteren diyagrama **öncelik diyagramı** denir. Bu diyagramda çemberler iş istasyonlarını, oklar ise sürecin hangi yönde ilerleyeceğini göstermektedir [1].



Şekil 2.12. Öncelik Diyagramı [1]

2.3.9. Öncelik Matrisi

Bir montaj hattı sisteminde, teknolojik diyagramın üst üçgensel matris durumuna dönüştürülmüş haline **öncelik matrisi** denir. Aralarında doğrudan ya da dolaylı olarak öncelik ögesi bulunan iş ögeleri için, matriste önce gelen iş ögesi satırda, izleyen iş ögesi numaralı sütunun kesiştiği hücreye **1**, diğer hücelere **0** konulur [1].

	Ardıl İş Ögeleri						
	1	2	3	4	5	6	7
1	-	1	1	1	1	1	1
2		-	0	1	0	1	1
3			-	0	1	1	1
4				-	0	1	1
5					-	1	1
6						-	1
7							-

Şekil 2.13. Öncelik Matrisi [1]

2.3.10. Esneklik Oranı

Montaj hattı sisteminde, elde edilebilen uygun sıraların sayısının ölçüsüne **esneklik oranı** denir [1].

E = Esneklik Oranı

$\sum S_A$ = Ürünün İş Ögesi Sonrası Gideceği Alternatif İş Ögesi Sayısı Toplamı

n = Dengeleme Sonucunda Elde Edilen İş İstasyonu Sayısı

$$D (\%) = \frac{(C - C^*)}{C} \times 100 = (n \times C) - \frac{\sum_{i=1}^N (t_i)}{n \times C} \times 100 \quad (2.5)$$

2.3.11. Düzgünlük İndeksi

Bir montaj hattı sisteminde, montaj hattındaki iş istasyonlarının işlem sürelerinin eşit dağılımını gösteren indekse **düzgünlük indeksi** denir. İşlerin istasyonlar arasında düzgün dağıtım yapıp yapılmadığını gösterir. İndeks ne kadar küçükse, hat o kadar düzgündür [1].

Dİ = Düzgünlük İndeksi

t_{max} = İstasyonlardaki En Büyük İşlem Süresi

n = Dengeleme Sonucunda Elde Edilen İş İstasyonu Sayısı

t_i = i. İstasyondaki İşlem Süresi

$$DI (\%) = \frac{\sqrt{\sum (t_{max} - t_i)^2}}{n \times t_{max}} \times 100 \quad (2.6)$$

2.3.12. Kuramsal Etkinlik (Teorik Etkinlik)

Bir montaj hattı sisteminde, montaj hattı etkin olarak gerçekleştirilen işlerin, toplam süreye oranına **kuramsal etkinlik (teorik etkinlik)** denir. Bazı kaynaklarda verimlilik olarak tanımlanmıştır [2].

KE = Kuramsal Etkinlik

t_i = i. İstasyondaki İşlem Süresi

C = Çevrim Süresi (Cycle Time)

n_{min} = Çevrim Süresinin (Cycle Time)Yarısından Büyük Süreye Sahip İş Ögesi Olduğunda İhtiyaç Duyulan En Az İstasyon Sayısı

$$KE (\%) = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n_{min} \times C} \times 100 \quad (2.7)$$

2.3.13. Hat Etkinliği

Bir montaj hattı sisteminde, iş istasyonuna atanan iş ögelerinin sürelerinin toplamının toplam süreyle çevrim süresinin (cycle time) çarpımına oranına **hat etkinliği** denir [1].

HE = Hat Etkinliği

t_i = i. İstasyondaki İşlem Süresi

C = Çevrim Süresi

n = Dengeleme Sonucunda Elde Edilen İş İstasyonu Sayısı

$$HE (\%) = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n \times C} \times 100 \quad (2.8)$$

2.4. Montaj Hatlarının Dengelenmesini Etkileyen Ana Faktörler

Montaj hatlarında, hat dengelenmesini etkileyen ana faktörler aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir; [1].

1. Kaynak gereksinimleri, iş işlemleri arasındaki öncelikler ve mühendislik spesifikasyonları [1].
2. Montaj işlemi yapılmasında izlenen yöntem [1].
3. Kullanılan cihazlar ve tezgâhlar [1].

2.5. Montaj Hatlarının Dengelenmesindeki Amaçlar

Montaj hatlarının dengelenmesindeki amaç, üretilen ürüne göre farklılık göstermekle beraber, çoğu çözüm birbiriyle çelişebilir. Ama montaj hattı dengelenmesindeki asıl amaç, üreticinin ve tüketicinin ürün üstündeki tüm istekleri dikkate alınarak, üretim maliyetini en aza düşürmek ve tüm çelişkiler göz önüne alınarak en uygun çözüme ulaşmak olmalıdır.

Montaj hattı dengelenmesindeki asıl amaçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;[1].

- Hattaki iş istasyonu sayısını minimuma indirgenmesi.
- İş istasyonlarındaki insan gücü sayısını en aza indirgenmesi.
- Var olan tüm kısıtları sınırları iş istasyonu arasında en düzgün şekilde dağıtılması.
- İşlemleri en kısa zamanda tamamlaması.
- Düzenli bir malzeme akışının sağlanması.
- Atıl sürelerin en aza indirgenmesi.
- Maliyetin minimumda tutulması.

Montaj hattı dengeleme problemlerinin amaçlarına göre problem iki tip başlık altında incelenebilir; [2].

Tip-1: Montaj hattındaki işlemlerin yapılabilmesi için, gerekli personel sayısını minimum olmasını amaçlar. Problem çözümünde gerekli çevrim süresi (cycle time) verilerek ve her görevin zamanı, bölgesi ve önceliği belirlenir [2].

Tip-2: Montaj hattındaki işlemlerin yapılabilmesi için, çevrim sayısının minimum olmasını amaçları. Problem çözümünde belirli işçi sayısı verilerek ve her görevin zamanı, sırası ve önceliği bilinir [2].

Montaj hatlarının dengelenmesindeki maliyetin en aza indirgenmesi, hat uzunluğu, hatta kullanılan makinelerin ve iş istasyonlarında çalışan nitelikli insan gücünün maliyeti ile orantılıdır. Maliyetin en az düzeyde tutulması, yukarıda sayılan diğer maddelerin sonucu olarak ortaya çıkacaktır.

2.6. Montaj Hatlarının Dengelenmesindeki Kısıtlar

Montaj hatlarının dengelenmesi yapılırken, dengelenmeyi etkileyen pek çok faktör vardır. Kısıtlar, hat dengeleme yapılırken mutlaka dikkate alınmalıdır. Montaj hattı dengeleme kısıtları, **birincil kısıtlar** ve **ikincil kısıtlar** olmak üzere iki başlık altında incelenebilir [1].

2.6.1. Birincil Kısıtlar

Her montaj hattı dengeleme probleminde göz önünde bulundurulması gereken kısıtlardır. Montaj hatlarının dengelenmesini etkileyen birincil kısıtlar çevrim süresi (cycle time) ve öncelik ilişkileridir [1].

2.6.1.1. Çevrim Süresi (Cycle Time)

Bir montaj hattı sisteminde, ürünün sisteme girmesi ve sisteme giren ürünün sistemden çıkması arasında geçen süreye **çevrim süresi (cycle time)** denir [1]. Ayrıca iş istasyonundaki işlerin tamamlanması için işçiye gerekli olan süre olarak da tanımlanabilir. Ürün üstünde yapılan işleme sürelerine ek olarak, ürünün ve iş istasyonunda üretim için yapılan hazırlık için gereken, malzemelerin istasyona yüklenmesi için gereken ve ilgili istasyonda süreci tamamlayan malzemenin iş istasyonundan boşaltılması için gereken süreleri de kapsar. Çevrim süresinin (cycle time) belirlenebilmesi için, işletme tarafından üretmek istediği ürün sayısı ve kullanılabilir üretim süresini belirlemesi gerekmektedir. Üretim miktarının ve makinelerin ortalama kullanım oranının artmasıyla çevrim süresi (cycle time) azalır. İstasyona atanan iş ögelerinin toplamı, çevrim süresini (cycle time) geçemez [1].

Çevrim süresinin (cycle time) hesabı şartlara ve duruma bağlı olarak değişebilir. Örneğin, işleme prosesi her 5 dakikada 16 bileşenden oluşan partiyi tamamlıyorsa; parti için çevrim süresi (cycle time) 5 dakikadır. Ancak sadece parça için çevrim süresi (cycle time) 18,75 saniyedir. (5 dakika x 60 saniye = 300 saniye. 300 saniye/16 parça = 18,75 saniye/parça).

Çevrim süresiyle (cycle time) ilgili terimler birkaç ana başlık halinde sıralanabilir.

Makine Çevrim Süresi: Bir makinenin belirli parça üzerindeki tüm işlemleri tamamlaması için ihtiyacı olan süredir [6].

Etkin Makine Çevrim Süresi: Bir makinenin parça üzerindeki tüm işlemleri tamamlaması için gerekli olan ek olarak yükleme-boşaltma süresinin iki model değiştirme arasında çıkan parça sayısına bölünerek hesaplandığı model değiştirme süresidir [6].

Örneğin, makine 30 saniye çevrim süresine sahipse, artı 15 saniye birleştirilmiş bir yükleme ve boşaltma süresi ve 20 olan bir minimum parti büyüklüğüne bölünmüş bir 30 saniyelik model değiştirme süresiyle etkin makine çevrim süresi $30+15+(20/30) = 46$ saniyedir [6].

Değer Yaratmayan Süre: Müşterinin açısından bir ürüne maliyet ekleyen fakat ürüne fiziki olarak herhangi bir değer katmayan faaliyetler için harcanan süredir. Örnek olarak depolama, muayene ve yeniden işlemeyi verilebilir [6].

Sipariş Akış Süresi: Siparişlerin işleme konulması ve üretime sokulması sırasındaki gecikmeler, müşteri siparişlerinin üretim kapasitesini aşması durumunda ortaya çıkan gecikmeler dâhil olmak üzere, üretim akış süresinin ve ürünün müşteriye teslim edilmesine kadar süresin sonraki aşamalarına doğru akışı sırasında harcanan süredir. Özetle, müşterinin ürün için beklediği süre olarak bilinir [6].

Operatör Çevrim Süresi: Bir operatör için, doğrudan gözlemlerle zaman tutulduğunda, operatörün iş istasyonunda işin bütün elemanlarını, onları tekrar etmeye başlamadan önce, tamamlaması için gereken süredir [6].

Üretim Akış Süresi: Bir parçanın, bir proses veya değer akışında bütün yolu bir baştan bir başa geçmesi için gereken süredir. İşletme seviyesinde, bu, çoğu kez kapıdan-kapıya süresi olarak bilinir. Ayrıca bu kavram, ürün geliştirmede, bir tasarımın başlangıcından bitişine kadar ilerlemesi için gereken süre veya bir ürünün hammaddeden müşteriye kadar, bütün bir yolu takip etmesi için gereken süreye de uygulanabilir [6].

2.6.1.2. Öncelik İlişkileri

Bir montaj hattı sisteminde, iş ögesinin yapılabilmesi, kendinden önce veya sonra gelen iş ögelerine bağımlıdır ve kendi aralarındaki öncelik sırasını belirleyen ilişkilere **öncelik ilişkileri** denir. İşin devam edebilmesi için, kendisinden önceki işin tamamlanmış olması gereken durumlarda gerçekleşir. Bir iş ögesinin yapılmaya başlaması için diğer iş

ögesinin mutlaka sonuçlanması gerekebilir. Bu durumda istasyonlara yapılan iş ögesi atamaları, öncelik ilişkilerine göre yapılmalıdır [1].

2.6.2. İkincil Kısıtlar

İkincil kısıtlar montaj hattının durumuna göre dikkate alınması gereken ek kısıtlardır. Montaj hatlarının dengelenmesini etkileyen ikincil kısıtlar konum kısıtı, sabit donanım kısıtı, istasyon yükü, atanmaması ve aynı istasyona atanması gereken iş ögeleridir [1].

2.6.2.1. Konum Kısıtı

Bir montaj hattı sisteminde, montajı yapılan ürünün konumu ile ürünün montajını yapan işçinin konumu arasındaki ilişkiyi ifade eden kısıtlara **konum kısıtı** denir. Bu kısıttaki iyileştirmelerin amacı ürünün en kolay şekilde işleminin/montajının yapılabileceği ortamı oluşturmaya çalışmaktır. Montajın aynı anda bandın iki yanından da operatör tarafından işlem görmesi gereken durumlarda ve genellikle, büyük ölçekli ürünlerin montajında karşılaşılr [1].

2.6.2.2. Sabit Donanım Kısıtı

Bir montaj hattı sisteminde, değiştirilemeyen parçaların oluşturduğu kısıtlara **sabit donanım kısıtı** denir. Test araçları, tezgâhlar gibi montaj hattının birleşik ögeleri bu kısıtlara örnek olabilir. Bu kısıt, iş ögelerinin iş istasyonlarına atanmasındaki esnekliği azaltır [1].

2.6.2.3. İstasyon Yükü

Bir montaj hattı sisteminde, olası bir gecikmenin tüm hattı etkilemesine engel olmak için, bazı istasyonların işlem süresi, çevrim süresinden (cycle time) daha az süreye sahip olması istenebilir. İstasyonlarda oluşabilecek aksamaların etkisini tüm hatta yansıtmaması için bazı istasyon yüklerinin çevrim sayısının daha az hesaplanması çalışmasına **istasyon yükü** denir. Aksamalar genellikle ilk istasyonlarda veya kritik işlemlerin yapıldığı istasyonlarda bu şekilde hesaplama yapılır [1].

2.6.2.4. Aynı İstasyona Atanması İstenen İş Ögeleri

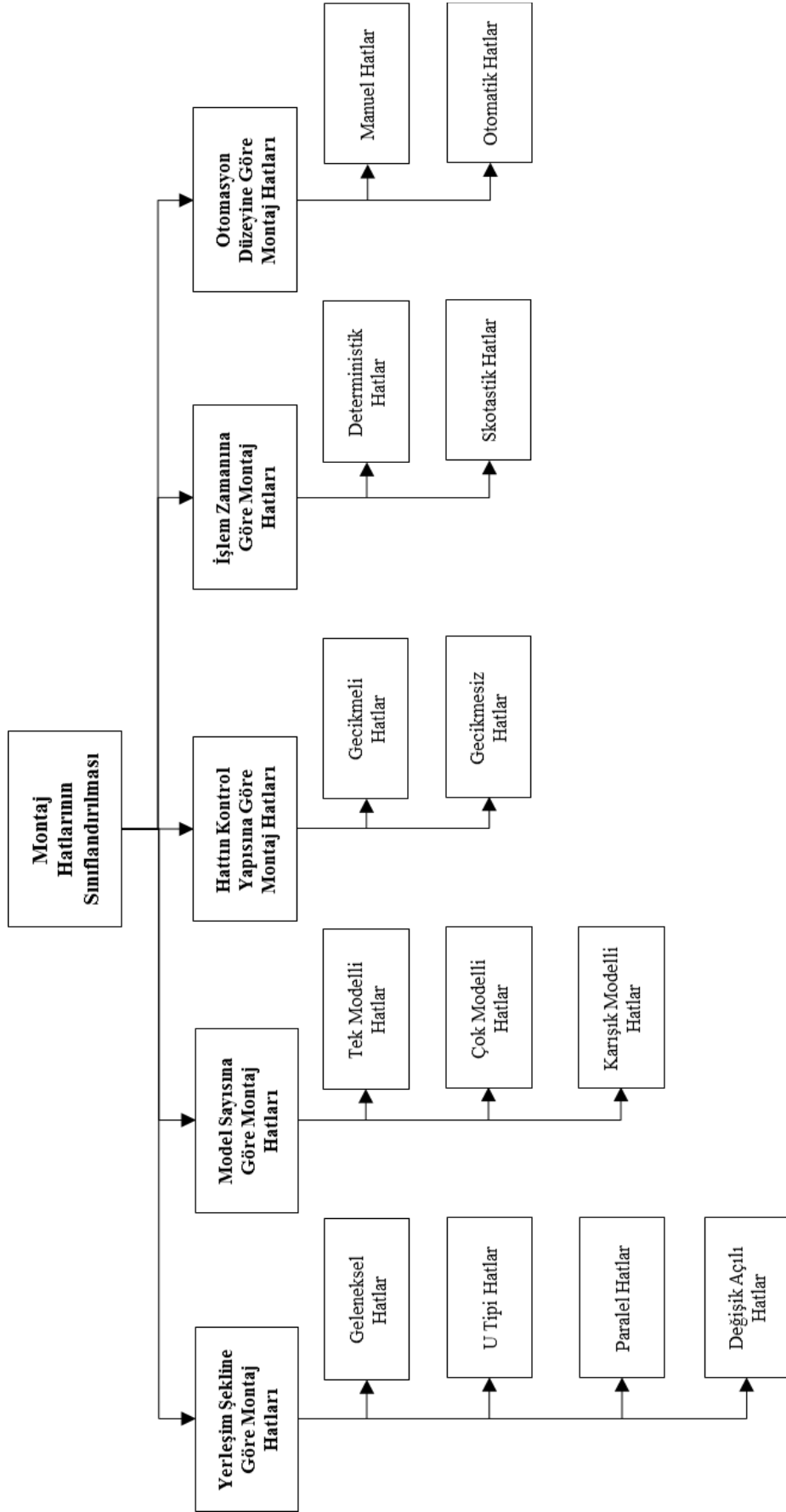
Bir montaj hattı sisteminde, benzer özellik gösteren işlerin aynı veya birbirini izleyen istasyonlara atanan iş ögeleridir. Özel bir aygıt kullanılan durumlarda, iki iş ögesinin aynı istasyona atanması istenen bir durumdur [1].

2.6.2.5. Ayrı İstasyona Atanması İstenen İş Ögeleri

Bir montaj hattı sisteminde, aşırı fiziksel güç uygulanması gereken işlerin ayrı istasyonlara atanmasıdır. Kullanılacak fazla miktarda fiziksel güç, ilgili istasyonda işlem yapan operatörlerin, uzun sürede ergonomik açıdan sorunlar yaşamasına sebep olmakta, bu durum da hat dengesini bozulmaktadır [1].

2.7. Montaj Hatlarının Sınıflandırılması

Montaj hatları literatürde pek çok şekilde sınıflandırılmıştır. Yapılan literatür çalışmalarına göre montaj hatları; yerleşim şekli, model sayısı, hattın kontrol yapısı, işlem zamanına ve otomasyon düzeyine göre sınıflandırılmıştır (Şekil 2.3).



Şekil 2.14. Montaj Hatlarının Sınıflandırılması [1]

2.7.1. Yerleşim Şekline Göre Montaj Hatları

Yerleşim şekline göre montaj hatları; geleneksel hatlar, U tipi hatlar, paralel hatlar ve değişik açılı hatlar olmak üzere dört temel başlık altında incelenmiştir.

2.7.1.1. Geleneksel Hatlar

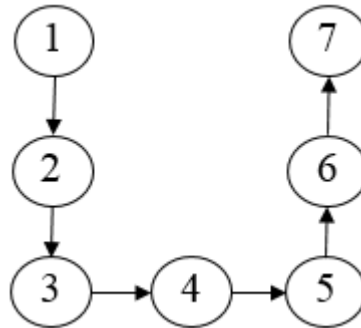
Birbiri ardına seri olarak sıralanmış iş istasyonlarından oluşan hatlardır. Düz hat ya da I tipi hatlar olarak da bilinir. Geleneksel montaj hatlarında, montajı yapılacak ürün, ilk istasyondan girer ve son istasyondan nihai ürün olarak çıkar. Bu hatlarda; iş akışının kolay ve hızlıdır. Ancak, hatların kapladığı alan fiziksel olarak fazla ve istasyonlardaki operatörler arasındaki iletişim çok azdır [1].



Şekil 2.15. Geleneksel Hatlar [1]

2.7.1.2. U Tipi Hatlar

U şeklinde tasarlanan montaj hatlarıdır. Talepte meydana gelecek değişikliklere uyum sağlamak ve iş istasyonlarında çalışan operatör kişisini azaltmak için; hat boyunca, farklı özelliklere sahip aynı türden arabalar üretildiği ve her araba için değişkenlik gösterdiği durumlarda U tipi hat yerleşimi ortaya çıkmıştır [1]. İlk olarak Toyota fabrikasında kullanılmıştır [101]. Üretim hızı, talebin miktarına ve operatör sayısında meydana gelen değişikliğe göre, üretimden önce tahmin edilebilmektedir. Bu sebeple, tam zamanlı üretim (Just-In-Time) sistemlerinde, U tipi hatlar tercih edilmektedir.



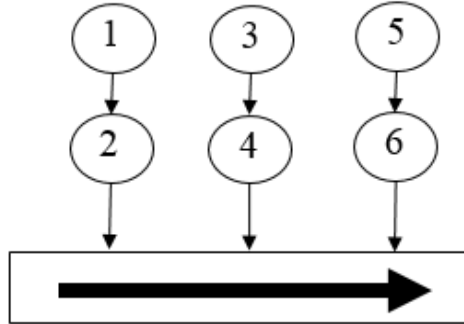
Şekil 2.16. U Tipi Hatlar [1]

U tipi montaj hatlarında, operatörler birden fazla iş istasyonunda görev alabilir. Bu durum, işçilik maliyetlerini azaltmaktadır. Ayrıca, üretim talebine göre işletmelerde operatör sayısı arttırılarak ya da azaltılarak üretim hızı belirlenebilir. Böylelikle üretim hacminde esneklik sağlanmış olur. İş istasyonlarındaki mesafe diğer hatlara göre daha az olduğu için operatörler arasındaki iletişim fazladır ve operatörlerin iş istasyonları arasındaki yer değiştirmelerinde, yürüme mesafesi azalır [1].

U tipi montaj hatları, geleneksel hatlara göre daha esnektir. Bu esneklik, sayesinde ihtiyaç duyulan iş istasyonu sayısı geleneksel hatlardan her zaman daha azdır.

2.7.1.3. Paralel Hatlar

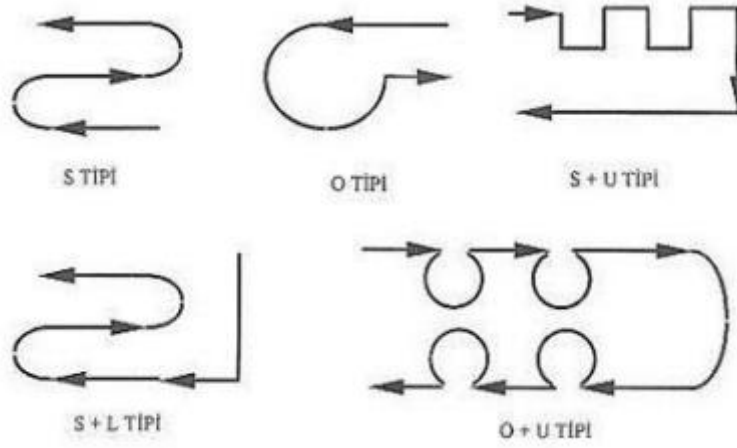
Ürün talebinin montaj hattı kurmak için yeterli olmaması durumunda ya da tek bir hattın kapasitesinin yetmediği durumda, özdeş hattın, ana hatta paralel olarak kurulduğu montaj hatlarıdır [1]. Benzer ürünlerin birbirinden ayrı montaj hatlarında üretilmesi paralel montaj hatlarıyla mümkün olmaktadır.



Şekil 2.17. Paralel Hatlar [1]

2.7.1.4. Değişik Açılı Hatlar

Yukarıda bahsedilen hatlar dışında ürünün üretim şekline göre sıralanan diğer montaj hatları bu gruba dâhil olmaktadır. Dairesel hatlar (O Tipi), ağaç biçimli hatlar, üst üste (havai) hatlar (S+L Tipi), rastsal hatlar... Gibi hat çeşitleri bu gruba dâhildir. Bu tarz yerleşimlerde ürün tipine ve montaj yöntemine göre hat düzeni yapılmaktadır.



Şekil 2.18. Değişik Açılı Hatlar [5]

2.7.2. Model Sayısına Göre Montaj Hatları

Model çeşidine göre montaj hatları; tek modelli montaj hatları, çok modelli montaj hatları ve karışık modelli montaj hatları olarak üç temel başlık altında incelenmiştir [1].

2.7.2.1. Tek Modelli Hatlar

Tek tip model ya da tek tip ürünün üretiminde kullanılırlar. (Kitle üretimi) Tek tip ürün üretiminde, hattın hazırlanması (Tezgâh hazırlama), kişilere yeniden iş dağıtım, yeni iş akış diyagramı veya makinelerde takım değiştirme gibi sorunlarla karşılaşmaz. İstasyonların süreç içerisinde iş yükü her zaman aynıdır. Tek modelli montaj hatlarının tasarımı basittir. Tek tip montaj edilecek parçalar üstünde aynı iş öğeleri bütün istasyonlarda uygulanır [1]. Tek çeşit ürün üretmek için kullanışlı olan bu hat sistemi, başka çeşit ürünler üretilme esnekliğine sahip değildir.

2.7.2.2. Çok Modelli Hatlar

Bir ürünün farklı modelleri ya da çeşitli ürünlerin partiler halinde ve değişik zamanlarda üretilir. Bir ürünün üretimi tamamen bittikten sonra başka bir modelin üretimine geçilir. Montaj hattı ilk model için üretim tamamlanıp, diğer model ürünün üretilmesi için montaj hattında hattın yeniden düzenlenmesi, istasyonlardaki kişilere yeniden iş dağıtım yapılması gerekmektedir [1].

Çok modelli montaj hatlarının tasarımı için izlenen yol haritası genellikle şu şekildedir [57].

1. Çevrim süresinin (cycle time) belirlenmesi.
2. Hatta giren çeşitli modeller/ürünler için belirli sıranın belirlenmesi.
3. Elemanter iş öğeleri arasındaki bütünleşik teknolojik öncelik diyagramının hazırlanması.
4. İhtiyaç duyulan en az iş öğesi sayısının hesaplanması.
5. Hattın dengelenmesi.
6. Çeşitli modellerin/ürünlerin hatta verilmeleri arasındaki sürenin belirlenmesi.

2.7.2.3. Karışık Modelli Hatlar

Aynı anda benzer tipteki modellerin üretildiği hatlardır. Karışık modelli hatlarda genellikle yarı mamullerin belirli bir akışla bir araya gelmesi sonucu ana mamuller oluşur. Yarı mamullerin oluşumunda kendi içinde farklı akışlar olmaktadır. Bu tarz hatlarda devamlı farklı modellerin üretilmesi sayesinde müşteri taleplerinin karşılanması kolaylaşır. Modellerin farklı işlem zamanlarına sahip olmasından ötürü iş akışında düzensizliklere ve bu sebeple de istasyon boş zamanlarında ve yarı mamul stoklarında artış olmaktadır [1].

Bu hatlarda, bitmiş ürün stokta bulunmaz. Bunun yerine tüketicinin istekleri, yapılan imalatla karşılanır. Kamyon ve otomobil montaj hatları örnek olarak verilebilir.

2.7.3. Hattın Kontrol Yapısına Göre Montaj Hatları

Hattın kontrol yapısına göre montaj hatları; gecikmeli ve gecikmesiz montaj hatları olarak iki ana başlık altında incelenmiştir [1].

2.7.3.1. Gecikmeli Montaj Hatları

İş istasyonuna, işler, bir önceki istasyonda iş tamamlandıktan sonra gelmektedir. İş istasyonlarındaki çevrim süresi (cycle time) birbirinden bağımsızdır. İşlerin iş istasyonunda tamamlanması sağlanır, ancak bu durumda hattın gecikme durumu iyi incelenmelidir [1].

2.7.3.2. Gecikmesiz Montaj Hatları

Her iş istasyonunda, ürün üretmek için çevrim zamanları eşit olduğu hatlardır. Çevrim süresi (cycle time) sonunda, sistem otomatik olarak bir sonraki iş istasyonuna geçer. Tamamlanmamış işleri hattın sonunda yeni bir istasyonda tamamlanmaktadır [1].

2.7.4. İşlem Zamanına Göre Montaj Hatları

İşlem zamanına göre montaj hatları; deterministik ve stokastik montaj hatları olarak iki ana başlık altında incelenmiştir [1].

2.7.4.1. Deterministik Montaj Hatları

Ürünün tüm hat boyunca iş istasyonlarında geçireceği sürenin belirli olduğu ve bu sürenin herhangi bir değişim göstermediğinin varsayıldığı durumlarda kullanıldığı hatlardır. Light-Out fabrikalarda, ileri teknoloji sanayilerinde ve robot teknolojisinin uygulama alanı bulabildiği fabrikalarda kullanılır.

2.7.4.2. Stokastik Montaj Hatları

Ürünün tüm hat boyunca iş istasyonlarında geçireceği sürenin belirsiz olduğu durumlarda kullanıldığı hatlardır. Genellikle insan yoğun çalışan montaj hatlarında bu duruma daha çok rastlanır. Çünkü insan unsuru, görev zamanlarının değişken olmasına yol açmakla beraber, çevrim süresinin (cycle time) aşılmasına ve toplam montaj hattı süresinin aşılmasına sebep olur [1].

2.7.5. Otomasyon Düzeyine Göre Montaj Hatları

Otomasyon düzeyine göre montaj hatları otomatik ve manuel montaj hatları olmak üzere iki ana başlık altında incelenmiştir [1].

2.7.5.1. Otomatik Montaj Hatları

İstasyondaki işlerin ve istasyonlar arasındaki geçişlerin otomatik olarak gerçekleştiği hatlardır. İş istasyonlarındaki kalifiye operatör maliyeti fazla olduğunda, insan yoğun çalışılarak yapılamayacak işlerde veya ürünün yapısı gereği iş istasyonlarında oluşabilecek sağlık sorunlarının önlenmesi için otomatik makineler ya da robotlar kullanılarak montaj hattı tasarlanır [1]. Bu hatlarda işlem sürelerindeki değişkenlik çok az olmakla beraber, atıl süre manuel hatlara göre daha azdır.

2.7.5.2. Manuel Montaj Hatları

İnsan yoğun iş gücünün fazlaca kullanıldığı hatlardır. Özellikle montaj hatlarında zarar görebilecek, hassas ürünlerin üretiminde ve otomasyon sisteminin maliyetinin yüksek olduğu durumlarda kullanılan hatlardır. Bu hatlarda en önemli etmen, operatörlerin

performansdır [1]. Performans operatörün kalifiye olma durumuna, çevresel, fiziksel ve zihinsel etkenlere göre değişkenlik gösterebilmektedir.

2.8. Montaj Hattı Dengeleme Yöntemlerinin Tanımlanması

Montaj hattı dengeleme problemi basit montaj hattı dengeleme problemi ve genel montaj hattı dengeleme problemi olmak üzere iki grupta incelenmektedir [1].

Basit montaj hattı dengeleme problemi kendi içinde iki türlü çözülebilir. Çözümde on adımlık aşağıdaki liste kullanılmalıdır. İlk dokuz madde basit montaj hatlarının dengelenmesinin ikisinde de kullanılmakta, onuncu ya da on birinci madde çözüm çeşidine göre kullanılmaktadır. Yani birinci tür basit montaj hattı dengeleme problemi ilk on maddeyi, ikinci tür basit montaj hattı dengeleme probleminde ise ilk dokuz madde ve on birinci maddeyi içerir [21].

1. Bütün girdi değişkenleri önceden belirlidir.
2. Bir iş ögesi, birden fazla istasyon arasında bölünemez.
3. İş ögeleri, teknolojik öncelik gereksinimlerine göre sıralanmalıdır.
4. Bütün iş ögeleri işlem görmelidir.
5. İstasyonlar, bütün iş ögelerini yapmak için lazım olan donanıma sahiptir.
6. İş ögesi zamanları, işlem gördükleri iş istasyonlarından önceki ve sonraki iş ögelerinden bağımsızdır.
7. Her istasyonda her işlem yapılabilir.
8. Tüm hat seri hat olacak şekilde düzenlenmelidir. Besleyici ya da paralel alt montaj hatlı hatlar olmamalıdır.
9. Montaj sistemi, tek bir ürünün, tek bir modeli için tasarlandığı varsayılır.
10. Çevrim süresi (cycle time) sabittir ve önceden bildirilir.
11. İstasyon sayısı sabittir ve önceden bildirilir.

2.9. Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinin Sınıflandırılması

Montaj hattı dengeleme problemleri literatürde pek çok şekilde çözülmeye çalışılmış, çözümle ilgili pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler üç ana başlık altında kümelenmiştir [1].

Montaj hattı dengeleme problemleri; probleme, çözüm yöntemine ve işlem süresine göre üç ana grupta sınıflandırılır.

2.9.1. Probleme Göre Sınıflandırma

Probleme göre sınıflandırma amaç sayısı, işlem süresi, ürün sayısı, paralel tezgâh durumu, istasyondaki işçi sayısı, hattın durumu, istasyon durumu, kaynak kısıtı, malzeme ikamesi, kusur oranlarının verilmesi, hattın yapısı gereği oluşabilecek özel problemler şeklinde sınıflandırılır [1].

2.9.1.1. Amaç Sayısı

Tek ya da çok amaç sayısına göre sınıflandırma yapılabilir. Amaçların bazıları, çevrim süresini (cycle time) optimize etmek, istasyon sayısını en aza indirmek... Olabilir [1].

2.9.1.2. İşlem Süresi

Belirli ya da rastsal olarak düşünülen işlem süreleri, uygulamada farklı olsa da, klasik hat dengelemede işlem süreleri sabit kabul edilmiştir [1].

2.9.1.3. Ürün/Model Sayısı

Tek ürün, benzer ürün, aynı ürün farklı modeller gibi ürün/model sayısına göre sınıflandırma yapılabilir [1].

2.9.1.4. Paralel Tezgâh Durumu

Montaj hatlarında aynı öğeleri içeren istasyonlar, paralel olarak düzenlenebilir [1].

2.9.1.5. İstasyondaki İşçi Sayısı

İstasyonda çalışan bir ya da birden fazla olması durumuna göre sınıflandırma yapılabilir [1].

2.9.1.6. Hattın Durumu

Montaj hatları sabit ya da hareketli olabilir [1].

2.9.1.7. İstasyon Durumu

Makinelerin, insanların ya da makine ve insanların beraber iş yaptığı durumlara göre sınıflandırma yapılabilir [1].

2.9.1.8. Kaynak Kısıtı

Montaj hattında kullanılan kaynakların kısıt durumuna göre sınıflandırma yapılabilir [1].

2.9.1.9. Malzeme İkamesi

Başkasının yokluğu durumunda kullanılabilecek malzemelerin durumuna göre sınıflandırma yapılabilir [1].

2.9.1.10. Kusur Oranlarının Verilmesi

İstasyondaki yarı mamullerin fire durumuna göre sınıflandırma yapılabilir [1].

2.9.1.11. Özel Problemler

Montaj hattının yapısı gereği oluşan çeşitli özel problemlere göre sınıflandırma yapılır.

2.9.2. Çözüm Yaklaşımına Göre Sınıflandırma

Çözüm yaklaşımına göre sınıflandırma; analitik yöntemler, sezgisel yöntemler ve benzetim teknikleri olarak üç ana grupta sınıflandırılabilir [1].

2.9.2.1. Analitik Yöntemler

Analitik yöntemler, kesin yöntemler olarak da bilinmektedir. Bu yöntemde amaç, probleme yönelik en uygun çözümü bulmaktır [1]. Çözüm genellikle zaman alır ancak analitik bir şekilde sonuca ulaşılır. Bu yöntemlerde; problemin çözüm süresi, problemin boyutuyla doğru orantılıdır. Problemin boyutu büyüdükçe, çözüm süresi de bu büyümeye oranla aynı şekilde artış gösterir.

Kesin yöntemlerden bazıları aşağıdaki gibidir [1].

- Matematiksel Programlama
- Dinamik Programlama
- Gevşetilmiş Lagrange Yöntemi (Lagrangian Relaxation)
- Konum Ağırlık Tekniği
- Dal-Sınır Algoritması
- Yerel Alt Sınır Yöntemi

2.9.2.2. Sezgisel (Bulgusal) Yöntemler

Sezgisel (bulgusal) yöntemler, problemin yapısına göre geliştirilen yöntemlerdir. Kullanılan yöntemde, kesinlik bulunmayan bu algoritmalar, her zaman aynı performansla çalışmaz, her zaman sonuç vermeyi ya da hesaplanan sonucun en uygun sonuç olduğunu garanti etmez. Ancak bu yöntemde çözüme; belirlenmiş kısıtlar altında, göreceli olarak daha geçerli de daha iyi sonuca daha az hesaplamayla daha hızlı şekilde ulaşılır [1].

Sezgisel algoritmalar kendi içinde çözüm yöntemine göre ikiye ayrılır.

Bu çözüm yöntemlerinden ilkinde; kurallar problemin çözümünden önce belirlenir. Belirlenen kurallara göre problem çözümü gerçekleştirilir. Sonrasında da iş istasyonlarına atamalar yapılır. Bu tür sezgisel algoritmalarından bazıları aşağıdaki gibidir [1];

- Bölgeleme Yöntemi (Kilbridge-Wester)
- Pozisyon Ağırlığı Yönetimi (Helgeson-Birnie)
- Moodie-Young Yöntemi
- Sıralanmış Pozisyon Ağırlıkları Yöntemi
- Kritik Yol Yöntemi
- Büyükten Küçüğe Sıralanmış Puanlara Göre Atama Metodu
- Hoffmann Sezgisel Yöntemi

Diğer sezgisel çözüm yöntemindeyse; öncelikle başlangıç çözüm yöntemi belirlenir. Bu yöntemde göre belirlenen kurallarla istasyonlara atamalar yapılır. Bu tür sezgisel algoritmalarından bazıları aşağıdaki gibidir [1].

- Genetik Algoritmalar
- Benzetim Tavlama
- Tabu Arama
- Parçacık Sürü Optimizasyonu
- Karınca Kolonisi Optimizasyonu
- Ağırlıklı Süper Pozisyon Çekimi
- Orman Optimizasyonu Algoritması
- Yapay Arı Kolonisi

2.9.2.3. Benzetim (Simülasyon) Teknikleri

Herhangi bir sistemin mekanizmasını anlamak ya da ilgili sistemin işleyişiyle ilgili farklı stratejileri değerlendirmek için sistemin zaman içindeki çalışmasını taklit eden bilgisayar modelinin kurulmasıdır. Kurulan bilgisayar modeliyle çeşitli deneyler yapılması, simülasyon teknikleridir. Genellikle ara stok düzeylerinin belirlenmesinde kullanılır. Matematiksel yöntemle en uygun çözüm bulunsa da, bulunan çözüm pek çok olasılık hesabı gerektirdiğinden, benzetim tekniğinin bulunduğu çözümler daha optimaldir. Benzetim tekniği aşamaları aşağıdaki gibidir [1].

1. Problemin tanımlanması.
2. Sistemin tanımlanması.
3. Sistemin akış şemasına çevrilmesi.
4. Modelin bilgisayar tarafından anlaşılır dile çevrilmesi.
5. Bilgisayarda çalışan programın doğru çalışıp çalışmadığının tespit edilmesi.
6. Modelden elde edilen sonuçların kabul edilebilirliğinin tespit edilmesi.
7. İstenilen bilginin elde edilmediğinin kontrolü için deney yapılması.
8. Her deneyin ne şekilde gerçekleşeceğini belirlenmesi.
9. Benzetim modeliyle istenen verilerin üretimine dair deney yapılması.
10. Üretilen verilerin yorumlanması.
11. Model bilgilerinin kullanıma konulması.
12. Modelle ilgili bilgilerin kayda geçerek belgelenmesi

2.9.3. İşlem Sürelerine Göre Sınıflandırma

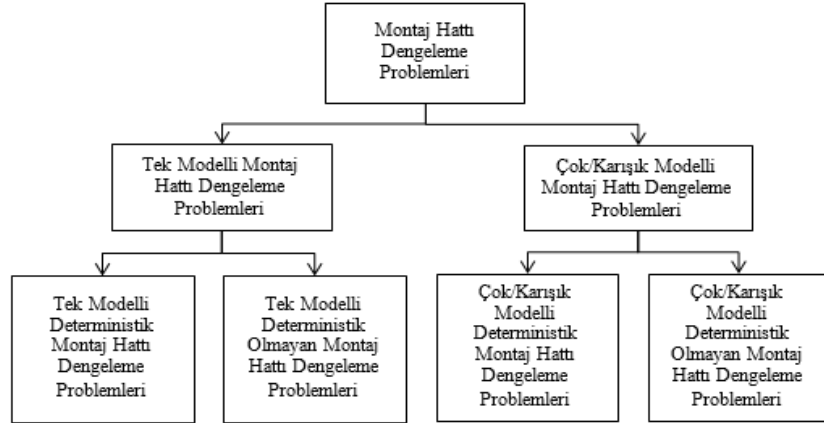
Montaj hattı dengeleme problemleri işlem sürelerine göre genel olarak deterministik ve deterministik olmayan montaj hatları olarak sınıflandırılır (Şekil 2.8.) [1].

2.9.3.1. Deterministik Montaj Hattı Dengeleme

İş istasyonundaki işlem zamanlarının belli olduğu ve işlem sürelerinin birimler arasında herhangi bir değişim göstermediği durumlarda görülen montaj hattı dengeleme türüdür. Günümüzde karanlık (Light-Out) fabrikalar olarak bilinen, üretimi sırasında insan gücüne ihtiyaç duyulmayan ve tamamen insansız üretimin sağlandığı fabrikalarda deterministik montaj hattı dengeleme yöntemleri uygulanır [1].

2.9.3.2. Deterministik Olmayan Montaj Hattı Dengeleme

İşlem sürelerinin belirli olmadığı ve işlem sürelerinin birimler arasında herhangi bir değişim gösterebildiği durumlarda görülen dengeleme türüdür. İşlem zamanları, belli bir dağılımla gösterilebilir. İşlem zamanlarının değişken olmasına sebep en büyük faktör sürece dâhil olan insan etmenidir [1].



Şekil 2.19. Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinin Sınıflandırılması [1]

2.10. Literatür Araştırması

Montaj hattı dengeleme problemi literatürde pek çok şekilde sınıflandırılmıştır. Bu çalışmada literatür araştırması tarih bazında sıralanarak yapılmıştır. Tek Modelli Montaj Hatlarının Dengelenmesi Konusunda Yapılan Literatür Çalışmaları

2.10.1. 1900-1964 Yılları Arasında Montaj Hattı Dengelenmesi Konusunda Yapılmış Olan Literatür Çalışmaları

Ransom Eli Olds tarafından 1901 yılında, “Curved Dash Oldsmobile” adı verilen otomobil tasarlandı. Bu otomobil sayesinde Ransom Eli Olds’un sahip olduğu Old Motor Works şirketi, bir montaj hattı işleyişini seri üretim hattında kullanan ilk fabrika oldu. Olds tarafından kullanılan üretim bandı yardımıyla 1901 yılında 425 araç üretebilen fabrika 1902 yılında 2.500 araç üretmiştir [7].

Henry Ford tarafından 1908 yılında üreilmeye başlanan, “Model T” adı verilen otomobil, yüksek kapasitede seri üretim yapabilen ilk montaj hattı olarak bilinmektedir. Henry Ford, ilk kez Olds tarafından kullanılmış olan montaj bandı prosesini, 1870 yılında

Cincinnati mezbahasında yaşanan montaj hattı sürecini inceledikten sonra, geliştirip standardize etmiştir. Bu montaj hattı sisteminde araçların bir hat boyunca teknikerlerin ayağına götürülmesi amaçlanmıştır. 1913 yılında 12,5 saat olan şasi üretimi süresi 2 saat 40 dakikaya düşmüştür. Bunun yanı sıra Ford, aynı dönem içerisinde çalışanlarının maaşlarını 2 katına çıkararak günlük 9 saatlik çalışma sürelerini de 8 saate düşürmüştür. Rakip şirketler bunu kapitalizme uygun görmese de yılsonunda Ford Amerika'daki tüm arabaların %50'sini üretmişti. 1918 yılında ise, ülkedeki arabaların yarısı Model T olmuştur. Bunun yanı sıra, bu modelin fabrika çıkış renginin siyah olmasının sebebi de siyah boyanın en hızlı kuruyan boya olmasıydı [8].

Bryton tarafından 1954 yılında [9] yapılan bitirme tezinde montaj hattı dengeleme problemi ilk kez ele alınmıştır. Çalışmada bütün ögeler deterministik olarak kabul edilmiştir. Çalışma sırasında, iş istasyonları sayısı sabit kabul edilerek, çevrim süresinin (cycle time) minimize edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın amacı, istasyondan geçen ürünün, tüm istasyonlarda eşit sürede kalarak ve ürünün istasyonlar arasında hareket ederek iş istasyonu sayısını sabit tutmaktır.

Salveson tarafından 1955 yılında [10] yazılan makale, montaj hattı dengeleme problemi konusunda yayımlanan ilk makaledir. İlgili çalışmada, montaj hattı dengeleme problemi 0-1 tam sayılı doğrusal programlama şeklinde ifade edilmiştir. Bu yöntemde Salveson, çevrim süresi (cycle time) ve işlem zamanını sabit kabul ederek, istasyon sayısını matematiksel formülasyon kullanarak en aza indirmeyi amaçlamıştır.

Jackson tarafından 1956 yılında [11] yapılan çalışmada, “Aşamalı Sıralamayla Çözüm” yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde göre, sistemin çevrim süresini (cycle time) aşmamak ve öncelik ilişkilerine uyarak, tüm işlerin olası tüm atamaları belirlenir. Belirlenen atamalara göre, çözümü kolaylaştıracak sadeleştirmeler yapılarak en iyi sonuç bulunması amaçlanmıştır.

Bowman tarafından 1960 yılında [12] yapılan çalışmada, montaj hattı dengeleme problemi çözümü yapılırken analitik yöntem kullanılmıştır. İş ögesinin belirlenmiş olan kısmının bir istasyonda, kalan kısmın da başka istasyonda olduğu durumlardaki problemlerin 0-1 tam sayılı doğrusal programlama şeklinde çözülerek istasyonlar

arasında bölünme olasılığı ortadan kaldırılmıştır. Amaç, istasyon sayısını minimize etmektir.

Helgeson ve Birnie tarafından 1961 yılında [13] yapılan çalışmada, kendileri tarafından geliştirilen konum ağırlıklı pozisyon dengeleme tekniği anlatılmıştır. Bu yöntemde, her bir iş ögesine kendisinden sonra gelen iş ögelerinin toplam zamanlarının fazlalığına göre ağırlık verilir. Bu, konum ağırlığı olarak ifade edilir. Hedef, her bir iş ögesi, konum ağırlığı en yüksek olandan başlayarak öncelik ilişkileri de dikkate alınarak istasyonlara atamaktadır.

Kilbridge ve Wester tarafından 1961 yılında [14] yapılan çalışmada, kendileri tarafından geliştirilen bölgeleme yöntemi anlatılmıştır. Bu yöntemde, çevrim süresi (cycle time) ve iş istasyonu sayısı değişkenlik göstermektedir. Öncelikle bir atama tablosu oluşturulup, sonrasında çevrim süreleri ve öncelik ilişkileri dikkate alınarak istasyonlar arası gerekli iş ögesi kaydırmaları yapılmıştır. Çalışmanın amacı, birbirinden çevrim zamanlarına göre bulunan çeşitli çözümler içinde denge kaybının en az olduğu alternatifini belirlemektir.

Kilbridge ve Wester tarafından 1961 yılında [15] yapılan çalışmada, modellerin sıralanması problemleri ele alınarak sezgisel hat dengeleme yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde, çevrim süresi (cycle time) ve iş istasyonu sayısı değişken olmakta olup, belirli kurallar çevresinde, gruplama yöntemi uygulanarak iş ögeleri istasyonlara atanmıştır.

Held ve Karp tarafından 1962 yılında [16] yapılan çalışmada, iş sırası problemine dinamik programlama yöntemiyle yaklaşmışlardır. Bu yöntemde, her iş istasyonu kendi içinde değerlendirilmiş ve her iş istasyonu için ortaya çıkan bu durumda seçilen karar, bir sonraki aşamada hangi duruma dönüşeceği incelenerek optimal çözüm bulunmaya çalışılmıştır.

Held, Karp ve Shareshian tarafından 1963 yılında [17] yapılan çalışmada, Held ve Karp'ın 1961 yılında geliştirmiş olduğu dinamik programlama yöntemi geliştirilerek yeni bir sistem kurulmuştur. Bu dinamik sistem, öncelik ilişkilerini kullanarak montaj hattı dengeleme problemine dinamik programlama yöntemiyle yaklaşmış ve sistemi matematiksel formülize ederek analiz etmişlerdir. Atamalar bu formülasyona göre

yapılmıştır. Çalışmanın amacı, belirli çevrim süresi (cycle time) için iş istasyonu sayısını en aza indirmektir.

Hoffmann tarafından 1963 yılında [18] yapılan çalışmada, öncelik matrisinden yararlanarak ve belirli kurallarla sıralamaya dayalı sezgisel bir montaj hakkı dengeleme yöntemi geliştirmiştir. 0-1 tam sayılarıyla oluşan bu sezgisel yöntemde; iş ögeleri kendi arasında incelendiğinde, öncelik ilişkisi olan iş ögeleri 1, diğerleri de 0 sayılarıyla kodlanarak her sütun için 0-1 tam sayılı kodların toplanmasıyla hesaplanır. Hoffmann, FORTRAN isimli kendi yapmış olduğu programında 9 iş ögeli bir montaj hattı için uygulamış ve diğer yöntemlerle karşılaştırarak çözüme ulaşmayı denemiştir. Çevrim süresi (cycle time) aşılmadan ve öncelik ilişkileri kullanılarak elde edilen bu matris dizisinde amaç, birden fazla önceliği olmayan işin, iş istasyonlarına doğru atamaların yapılabilmesidir.

Moddie ve Young tarafından 1964 yılında [19] yapılan çalışmada, işlem sürelerinin sabit ve değişken olarak kullanılabilirdiği iki aşamalı bir sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Bu sezgisel yöntemde, ilk aşamada belli kurallara göre atamalar yapılır, daha sonra çevrim süresindeki (cycle time) küçük değişikliklerle optimum hat dengesi bulunmaya çalışılmıştır.

2.10.2. 1965-1974 Yılları Arasında Montaj Hattı Dengelenmesi Konusunda Yapılmış Olan Literatür Çalışmaları

Mansoor ve Ben-Tuvia tarafından 1966 yılında [20] yapılan çalışmada, görev zamanlarının normal dağılım olacak şekilde gerçekleştiğini ve istasyon sayısının belirli olduğunu kabul etmiştir. Bu durumlar içinde çevrim süresinin (cycle time) en aza indirgenmesi konusunda çalışmalar yapmıştır.

Arcus tarafından 1966 yılında [21] yapılan çalışmada, COMSOAL isimli tekniği geliştirmiştir. Bu tekniğe göre, çevrim süresini (cycle time) aşmayacak şekilde atanması uygun olan işler atanır. Atanan bu uygun işler sonucunda çeşitli çözümler oluşur. Tüm çözümler hesaplanarak bittiğinde, denge kaybının en az olduğu alternatif seçilir. Bu yöntem başta stokastik yöntem için denenmiş olsa da; hem deterministik hem de stokastik işlem zamanlarının olduğu durumlarda kullanılmıştır. Chrysler firmasında “0 (Sıfır)” gecikmeyle tam dengeyi sağlamak için bu sezgisel metot kullanmıştır. Bu yöntem tek

modelli hatlarda kullanılmak üzere tasarlanmış olup zamanla çok ve karışık modeller için de uygun hale getirilmiştir. Bu çalışmada, atanabilir durumdaki iş ögeleri, iş istasyonlarına benzetim tekniği kullanılarak sıralar üretmektedir.

Thomopoulos tarafından 1967 yılında [22] yapılan çalışmada, Kilbridge ve Wester tarafından 1961 yılında yapılan [15] çalışma geliştirilerek, iş ögesini çevrim süresine (cycle time) göre değil, iş akışı göz önüne alınarak istasyonlara ataması yapılmıştır. Ayrıca karışık modelli montaj hattı dengeleme problemini, tek modelli montaj hattı problemine dönüştürerek çözüm elde eden ilk çalışma Thomopoulos tarafından yapılmıştır. Bu dönüştürme için iki yöntem kullanmıştır. İlk yöntemde, değişik modellerin öncelik ilişkileri birleştirilerek, bir tek öncelik ilişkileri diyagramı oluşturulmakta, ikinci modelde ise; tüm modellerin işlem süreleri dikkate alınarak, her bir işlem için önceden ayarlanmış süre değeri kullanılmaktadır.

Roberts ve Villa tarafından 1970 yılında [23] yapılan çalışmada, tam sayılı doğrusal programlama modeli oluşturulmuştur. Tam sayılı doğrusal programlama modeli, optimum araştırma prosedürüne bağlıdır. Kısıtların ve değişkenlerin çok sayıda oluşu, küçük ölçekli problemlerde bile kullanılabilirliğini engellemiştir.

Nevins tarafından 1972 yılında [24] yapılan çalışmada, istasyon sayısı en aza indirgenirken; öncelikle istasyon sayısı için bir üst sınır belirlenmiş olup sonrasında da bu sayı birer birer azaltılarak teorik olarak elde edilebilecek minimum istasyon sayısı bulunması yöntemi geliştirilmiştir. Nevins tarafından yapılan bu çalışmada, istasyon sayısının kademeli olarak minimize edilmesi amaçlanmıştır.

Dar-El tarafından 1973 yılında [25] yapılan çalışmada, herhangi bir işin tamamlanma süresinin normal bir dağılıma sahip olduğu fikrini öne sürmüştür. MALB-A sezgisel çözüm algoritmasıyla hesaplanan sonuca göre, istasyon başına düşen görev sayısını “West Ratio” olarak adlandırmıştır. Bu çalışmanın amacı, her bir iş istasyonunun çevrim süresinin (cycle time), diğer iş istasyonlarından ve iş istasyonlarının sıralamasından bağımsız olduğu ispatlamaktır.

Kottas ve Lau tarafından 1973 yılında [26] yapılan çalışmada, optimal çevrim süresinin (cycle time) verildiği ve tüm işin bitirilemediği montaj hatlarında; hat boyunca

gerçekleşen istasyonlarda gerçekleşen maliyetlerin en aza indirilmesi konusunda çalışma yapmışlardır.

Buxey tarafından 1974 yılında [27] yapılan çalışmada, aynı istasyonda çalışan işçilerin, konum değişikliklerinin oluşturacağı gereksiz iş durumlarını, iş elemanlarının aynı iş istasyonunda olması/olmaması gereken halleri ve aynı iş istasyonunda birden fazla kişinin çalışması durumunda iş dağılımının nasıl olacağı incelenmiştir. Bu çalışmada, iş istasyonlarında, işlem süresinde boş zamanların sıfırlanması veya en aza indirilmesi amaçlanmıştır.

Dar-El ve Cother tarafından 1975 yılında [28] yapılan çalışmada, tüm montaj hattı boyunca operatörlerin atıl zamanlarını sıfır olacak şekilde hattın dengelenmesi amaçlanmıştır. Bu sebeple çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir.

2.10.3. 1975-1984 Yılları Arasında Montaj Hattı Dengelenmesi Konusunda Yapılmış Olan Literatür Çalışmaları

Vrat ve Virani tarafından 1976 yılında [29] yapılan çalışmada, çevrim süresini (cycle time) geçen iş istasyonlarını birbirine paralel olacak şekilde konumlandırıp, daha küçük istasyonlara ve paralel hatlara bölünerek iş istasyonlarındaki maliyeti daha kolay görülebilmesini sağlamaktadır.

Dar-El ve Cucuy tarafından 1977 yılında [30] yapılan çalışmada, montaj hatlarında, iş istasyonlarının her bir istasyon için dengelediğinde oluşan sıralama problemini en uygun olarak çözülecek şekilde algoritma düzenlenmiştir. En uygun sıralama, istasyondaki boş zamanları sıfırlamak için toplam hat uzunluğunun en aza indirilmesiyle mümkün olmaktadır. Montaj hatlarındaki çevrim sıralarını oluşturan sıralama algoritmanın ilk aşamasını oluşturmaktadır. İkinci aşamada da tam sayılı programlama kullanılarak çevrim sıra sayısının ve bu çevrim sayı sıralarının birleşimini, üretimin taleplerini karşılamak için, belirlemeye çalışır.

Dar-El tarafından 1978 yılında [31] yapılan çalışmada, daha önce yapmış olduğu [30] çalışmadan isimli iki aşamalı çalışmayı geliştirerek dört model sıralama kategorisi elde etmiştir. Her bir kategoride, toplam hat uzunluğunu en aza indirecek ve işlem süresini en aza indirmek için, her bir aşamada birden fazla kriteri karşılamayı hedefler. Her kategori için sıralama probleminin çözümüne yaklaşımlar sunulmuştur.

Sculli tarafından 1979 yılında [32] yapılan çalışmada, hat tasarımı yapıldıktan sonra, yeniden dengelemeye yönelik dinamik yaklaşım, farklılaşan koşullara uyum sağlayabilecek şekilde düzenlenmiştir.

Kao tarafından 1979 yılında [33] çalışmada, öncelik sıralı bir dinamik programlama algoritmasını işlem zamanlarının; gamma, poisson veya negatif binom dağılımına göre belirlediği kodlamada kullanılacak yaklaşımlar sunulmuştur. Çalışmanın amacı, orta büyüklükteki problemlerin bilgisayarda hızlıca çözümü için, boyutsal problemleri azaltmaktır.

Raouf, Tsui ve El-Sayed tarafından 1980 yılında [34] yapılan çalışmada, “Kritik Yol Yöntemi (CPM – Critical Path Method)” geliştirilmiştir. CPM’de her işlem için belli bir süre tahmin edilir. Bu metoda göre, bir işlem bittikten sonra onu izleyen işlemin veya işlemler başlamalıdır. Bir başka deyişle istasyonlar arasında son-baş ilişkisi vardır. Amaç, her istasyonun yönetici tarafından belirlenen güvenilirlik seviyesini aşmayacak şekilde dengelenmesi ve çevrim süresi (cycle time) için ihtiyaç duyulan en az iş istasyonu sayısını elde etmektir.

Shttb tarafından 1984 yılında [35] yapılan çalışmada, her bir iş istasyonuna birden fazla operatörün atanmasını öngördüğü matematiksel model üstünde çalışma yapılmıştır. Modelin amacı, süreç içi envanter maliyeti, işgücü maliyeti ve işin tamamlanmama maliyetlerinden oluşan toplam maliyetini en aza indirmektir.

2.10.4. 1985-1994 Yılları Arasında Montaj Hattı Dengelenmesi Konusunda Yapılmış Olan Literatür Çalışmaları

Driscolla ve Abdel-Shafi tarafından 1985 yılında [36] yapılan çalışmada,; farklılaşan koşullar altında, montaj hattının etkinliğini ölçümleyebilmek için, benzetim temelli montaj hattı dengeleme yöntemi geliştirmişlerdir. Bu çözüm yönteminde istasyonlar, operasyon süresi en fazla olandan az olana göre sıralanır. İş istasyonlarındaki işlem zamanlarının normal dağılıma uyduğu durumlarda, probleme çözüm aranmıştır.

Agrawal tarafından 1985 yılında [37] yapılan çalışmada, iş öğelerini istasyonlara atamak için “En Geniş Küme” algoritmasını geliştirilmiştir. Bu yöntemde, iş istasyonları için süre hesaplaması yapılır. Yapılan hesaplama göre de çevrim süresinden (cycle time) küçük, en büyük birikimli süreye karşılık gelen tüm iş öğeleri iş görene atanır ve bu iş öğeleri

öncelik diyagramından çıkartılır. Tüm iş ögeleri istasyonlara atanana kadar bu işlem yapılmıştır. Birikimli sürenin öncelik sıralamasına göre dağıtıldığı bu çalışma, diğer sezgisel algoritmalar gibi en uygun sonucu garanti etmez.

Wilson tarafından 1986 yılında [38] yapılan çalışmada,; Shttjb tarafından 1984 yılında yapılan [35]. çalışmada önerdiği formülasyonu yeniden formüle ederek geliştirmiştir. Bu yöntemde, işleri birden fazla operatörlü iş istasyonlarına atayarak etkili bir montaj hattı tasarlamak için 0-1 tam sayılı programlama modeli kullanmıştır.

Baybars tarafından 1986 yılında [39] 5 aşamalı bir prosedür üstüne geliştirme yapılmıştır. İlk bölümde 4 küçük iş ögelerine ayrılıp iş ögelerinin kendi içinde çözümü gerçekleştirilmiş. Beşinci ve son kısımda da sezgisel bir yöntem kullanılarak çözüm elde edilmiştir. Çalışmanın amacı, problemin bazı özelliklerinden yararlanılarak problem boyutunun azaltılmasıdır.

Baybars tarafından 1986 yılında [40] yapılan çalışmada, Baybars tarafından aynı yıl içinde yapılmış olan diğer makalede [39] yapılmış olan 5 aşamalı çözümün alternatif 0-1 tam sayılı programlama formülasyonu geliştirilmiş ve problemin çözümü yapılmıştır.

Saltzman ve Baybars tarafından 1987 yılında [41] yapılan çalışmada, incelenen 2 adet-dal sınır ağaçlarından birine, ağacın düşük düzeylerinde, teknolojik öncelik diyagramlarında en baştaki iş ögelerinin atamasını gerçekleştirirken, diğerine bu dal-sınır ağacının sonraki iş istasyonunu atamaktadır. Bu problemi aynı zamanda hem geri hem de ileri yönde uygulanmıştır. Süreçte, sırasıyla her düğüm incelenmiş, problemle ilgili öncelik diyagramı gibi ortak bilgiler ve sürecin ilerlemesiyle değişebilen ortak bilgiler paylaşılan hafızada tutulmuştur. Her güncelleme sonrası bellekteki bilgiler her iki süreç tarafından güncellenmiştir. Amaç, sabit bir çevrim süresi (cycle time) için en az sayıda iş istasyonu sayısını elde etmektir.

Deckro tarafından 1989 yılında [42] yapılan çalışmada, makalede yaptığı çalışmada, çevrim süresini (cycle time) ve istasyon sayısını aynı anda dikkate alarak, montaj hattı dengelenme çalışmasının yanı sıra bir maliyet çalışması da hesaplanmıştır. Çalışmanın amacı, çevrim süresi (cycle time) ve iş istasyonlarıyla ilgili yapılmış olan işlemlerin maliyete yansımaları hesaplayarak, tutarsal olarak dengeleme sonucunun işletmeye yansımaları görmektir.

Bard tarafından 1989 yılında [43] yapılan çalışmada, paralel istasyonlu hat dengelemesi için dinamik programlama uygulamasını, hem iş istasyonlarının hem de iş ögelerinin birbirine paralel yapıldığı zamanda ve istasyonlardaki boş zamanlar işleme katılarak, en az istasyonla dengeleme çalışması yapılmıştır. Çalışmadaki ölü zaman, iş istasyonunun üretim için kullanılmadığı zaman olarak tanımlanabilir. Çalışmanın amacı, istasyon sayısını minimize etmektir. Ayrıca Bard, paralelleme durumunda oluşan ek maliyet de yapılan maliyet çalışmalarına eklenmiştir.

Betts ve Mahmoud tarafından 1989 yılında [44] yapılan çalışmada, sınırların öncelik matrisine göre belirlendiği dal-sınır yöntemini geliştirmişlerdir. Bu yöntem sayesinde, belirli boyutlardaki problemler için optimal çözüme ulaşılmıştır.

Mithenburg tarafından 1989 yılında [45] yapılan çalışmada, yeni bir çizelgeleme algoritması geliştirilmiştir. Çalışmanın amacı tam zamanlı üretim sistemlerinin optimal şekilde çizelgelenmesidir. Mithenburg çalışmasında çok sayıda U tipi montaj hattının olduğu üretim yerlerinde hatlar arasındaki dengeyi en fazla 22 iş ögeli problemlere kadar optimum denge sağlamıştır.

Sumichrast ve Russell tarafından 1990 yılında [46] yapılan çalışmada, 5 adet sıralama metodu incelenmiştir. Bu yöntemde performans tüm modellerin aynı bileşenleri kullandığı zamanki durumlarda değerlendirmiştir. Model kullanımının ortalama mutlak sapması ile model seyri veya üretim sıra uzunluğu arasındaki ilişkiyi ortaya çıkartmıştır. Ayrıca bu çalışma sonucunda; bağıl performansların, model sayısı, talep tipi ve üretim sırasıyla ilişkili olmadığı ortaya konmuştur.

Sarin ve Erel tarafından 1990 yılında [47] yapılan çalışmada, iş ögelerinin bitirilememesinden kaynaklanan maliyetlerin hesaplanması üzerine çalışmalar yapmışlar ve bu maliyetlerin en aza indirgenmesi amacıyla bir maliyet modeli geliştirmişlerdir.

Shin tarafından 1990 yılında [48] yapılan çalışmada, iş istasyonlarındaki çevrim süresinin (cycle time) minimize edilmesi sonucu toplam maliyetin de en aza indirgeneceğini öngörerek sezgisel bir yöntem geliştirmiştir.

Dar-El ve Rubinovitch tarafından 1991 yılında [49] yapılan çalışmada, basit montaj hattı problemi için, geleneksel yöntemdeki sürekli üretim yerine, uzun iş sürelerine sahip

ancak daha az üretim yapan, parti üretimini ele almıştır. Bu yöntemde; öğrenme, envanter, yükleme, dengeleme ve yerleşme olarak 5 etken ele alınarak ekonomik koşulları incelenmiştir. Bu sistemin amacı, çevrim süresini (cycle time) ve istasyon sayısını iyileştirerek optimal sonuç elde etmektir.

Carlson ve Yao tarafından 1992 yılında [50] yapılan çalışmada, tam zamanlı üretim sistemiyle ürün üreten bir firmada, simülasyon ile bir ön deneme yapılmıştır. Montaj hattı boyunca tekrar işlemeyi ve alan gereksinimini azaltmak, kalite ve müşteri servisini geliştirmek, müşteri ihtiyaçlarına hızlı cevap vermek ve ürünlerin müşteri talepleri doğrultusunda hızlıca üretilmesini sağlamak bu simülasyonun başlıca amaçlarıdır.

Berger, Bourjolly ve Laporte tarafından 1992 yılında [51] yapılan çalışmada, çok ürünli montaj hattında; daha önceden belirlenmiş olan çevrim süresi (cycle time) için, geliştirilmiş ve dal-sınır algoritmasıyla en az iş istasyonu sayısını elde etmek amaçlanmıştır.

Hong ve Seong tarafından 1993 yılında [52] yapılan çalışmada, paralel olarak yerleştirilmiş iki makineli ve makineler arasında sınırlı kapasiteye sahip üretim hattında güvensizlik analizi için etkili bir algoritma geliştirmiştir. Çalışmanın amacı, sabit durum dağılımlarının, sabit durum çıktıların ve ortalama envanter seviyelerinin belirlenmesidir.

Decker tarafından 1993 yılında [53] yapılan çalışmada, karışık montaj hatları için hiyerarşik olarak yapılandırılmış bir montaj hattındaki üretim planlama problemine yönelik çözümler üretmiş, hattın kapasite planlamasına dair deneysel yöntemler önermiştir. Bu çözümlerde, istasyondaki hiyerarşi belirlenmiş ve istasyonların sıralaması benzer istasyonlarla kıyaslanarak yapılmıştır.

Ding ve Cheng tarafından 1993 yılında [54] yapılan çalışmada, karışık modellenli montaj hatlarında benzer hatlardaki her bir model için aynı üretim süresi olduğunu kabul etmiştir. Bu sebeple birbirine paralel konumlandırılmış eş hatlarda üretim kapasitesinin aynı olması için basit bir algoritma geliştirmişlerdir. Aynı kişiler tarafından 1993 yılında yapılan bir diğer çalışmada da [55] karmaşık modellenli montaj hattı dengeleme sisteminde, hattaki parça kullanımını sabitlemeye çalışarak standardizasyonla ilgili çalışma yapmıştır.

Zhuqi ve Shusaku tarafından 1994 yılında [56] yapılan çalışmada, karışık modellenli montaj hattında, ürün sıralaması üzerine çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, her bir iş istasyonundaki iş yükünü aynı seviyeye getirilmesi ve önceki işlemlerinde sabit bir oran elde edilerek beraber incelenmesi iki amaçlı bir problem çözümü yapılmıştır. Bu çözüm için sıralama metodu matematiksel yöntemlerle yapılmıştır.

Xiaobo ve Ohno tarafından 1994 yılında[57] yapılan çalışmada, ileteç tipi karışık modellenli bir montaj hattında ürün sıralaması problemini çözmek için, toplam hat duruşunu en aza indirgeyen optimizasyon çalışmaları dal-sınır metodu kullanılmıştır.

2.10.5. 1995-2004 Yılları Arasında Montaj Hattı Dengelenmesi Konusunda Yapılmış Olan Literatür Çalışmaları

Boctor tarafından 1995 yılında [58] yapılan çalışmada, montaj hattı dengelemesi için 4 kurallı sezgisel bir metot üzerinde çalışma yapılmıştır. Amaç, çevrim süresi (cycle time) için iş istasyonu sayısını en aza indirmektir. Bu çalışmanın başka bir önemi ise; rastgele seçilen literatürdeki montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümlenmesi bu metotla yapıldığında, Boctor'un metodunun başarı oranı %85'tir.

Klein ve Scholl tarafından 1996 yılında [59] yapılan çalışmada, BMHDP-2 için sınır - dal (branch-bound) algoritması geliştirmiştir. Bu problemde belirli sayıdaki iş istasyonu için çevrim süresinin (cycle time) en aza indirgenmesi, iş istasyonlarına işlerin atanması ve öncelik kısıtlarının belirlenmesini içerir. Üretim oranını maksimize etmek için geliştirilen bu yöntemde, BMHDP-2, BMHDP-1 ile yakından ilişkili durumların tekrar tekrar çözümlenerek, bir dizi sınırlama ve baskınlık ile tanımlanan “Yerel Alt Sınır Yöntemi” kullanılmıştır. Bu yöntem BMHDP-2 için yapılan en kapsamlı çalışmadır.

Klein ve Scholl tarafından 1997 yılında [60] yapılan çalışmada, 1996 yılında yazmış oldukları diğer makaledeki [59]. BMHDP-2 için yaptıkları çalışmayı geliştirerek “SALOME” isimli dal-sınır sezgisel algoritmasını geliştirmişlerdir.

Uğurdağ, Rachamadugu ve Papachriston tarafından 1997 yılında [61] yapılan çalışmada, BMHDP-2 için pozisyon ağırlığı yöntemi ile iş istasyonlarının yerleştirilmesi çalışması yapılmıştır. Çalışmada, tam sayılı programlama prosedürüne dayalı 2 aşamalı sezgisel bir prosedür hazırlanmıştır. Amaç, hat boyunca yerleşik olan istasyonların, çevrim süresini

(cycle time) en az seviyede gerçekleştirirken, iş istasyonları arasındaki iş yükünü eşit şekilde dağıtmaktır.

McMullen ve Frazierb tarafından 1997 yılında [62] yapılan çalışmada, aynı iş istasyonları içinde işlemlerin paralelleştirilmesi sonucu iş atamaları üzerine çalışma yapılmıştır. Yedi adet seçim içinden en optimal seçim yapılması üzerine kurulmuş bu çalışmada, simülasyon yapılarak her istasyon için sunulan sezgisel metodun nasıl kullanılabileceği gösterilmiş ve performans ölçüleri karşısında nasıl değerlendirileceği üzerine yöntemler geliştirilmiştir.

Gökçen ve Erel tarafından 1997 yılında [63] yapılan çalışmada, karışık modellenli montaj hatları için, çok kriterli karar verme çözümü uygulanarak 3 farklı hedef belirlenmiş ve 0-1 tam sayılı hedef programlama modeli geliştirmişlerdir. Çalışmanın amacı, tek amaçlı bir optimum çözüm elde etmektense, birbiriyle çakışan amaçlar için memnun edici seviyede performans elde etmektir. Üç farklı amacın belirlenerek çözümleme yapılmasında önerilen model, karar vericilere, alternatif değerlendirmesi için esneklik sağlamıştır.

Zhang, Luh, Yoneda, Kano ve Kyoya tarafından 1997 yılında [64] yapılan çalışmada, Toshiba'daki karışık modellenli kompresör montaj hattı için, optimizasyon tabanlı planlama algoritması, montaj hattı tasarımı ve uygulaması anlatılmıştır. Bu çalışmaya göre, ayrılabilir tam sayı optimizasyon formülü, kompresör partilerinin (lotlarının) dengelenmiş hat üzerinde, sanki tek bir operasyondan geçiyormuş gibi düzgün ilerlediği farz edilmiştir. Çalışmanın amacı, olası parça eksikliğinden kaçınarak ürünlerin tam zamanında dağıtılmasıdır. Bu yöntemde Lagrangian Relaxation (LR) metodu kullanılmıştır.

Gökçen ve Erel tarafından 1998 yılında [65] yapılan çalışmada, karmaşık modellenli montaj hatları için, birleştirilmiş öncelik diyagramı, kısıtlama sayısındaki artışı ve karar değişkenleri sınırlandıran bazı değişkenler kullanarak, toplam hat uzunluğunu küçültmeye çalışmıştır.

Urban tarafından 1998 yılında [66] yapılan çalışmada, istasyon sayısının minimize edilmesi için bir tam sayılı programlama modeli geliştirmiştir. Öncelik diyagramına bir hayalet öncelik diyagramı eklenerek iş öğeleri istasyonlara atanırken, hem hattın başından

hem de hattın sonundan atama yapılmasına olanak sağlanmıştır. Ayrıca, modelin etkinliğini arttırmak için teorik olarak gerekli olan minimum sayıda istasyonun kurulduğu kabul edilmiştir. Urban, bu modeli en fazla 14 istasyon ve 45 iş ögeli problemlere kadar test etmiştir. Elde edilen sonuçlar, Maksimum Konum Ağırlıklı Dengeleme Yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, test edilen 25 problemde 14'ünde Urban'ın tam sayılı programlama modelinin daha iyi çözüm elde ettiğini göstermiştir. Diğer 11 problemde ise iki yöntemde de aynı sayıda istasyon sayısı elde edilmiştir. Ayrıca, model BMHDP'yle de karşılaştırılmış, 5 problemde Urban'ın modeli daha iyi sonuç vermiştir.

Baskak tarafından 1998 yılında [67] yapılan çalışmada, hat dengelenmesiyle ilgili yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemde göre, her model, kendi öncelik diyagramına göre dengelenmekte ve modeller arası geçiş için ayrılan hazırlık süresi içinde iş istasyonları arasında iş ögesi değişimi mümkün kılınmıştır.

Süer tarafından 1998 yılında [68] yapılan çalışmada, montaj hattı dengelenmesi, paralel istasyonların belirlenmesi ve paralel hatların belirlenmesi konularında hat tasarımı üzerinde çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaya göre, üretim hacmi yüksek ve iş istasyonlarında mevcut operatörlerden fazla operatöre ihtiyaç olduğu durumda gerçekleşmektedir. Çalışmanın amacı, istasyonlardaki operatör sayısını en aza indirgeyerek iş istasyonlarının tasarımını oluşturmaktır.

Klein ve Scholl tarafından 1999 yılında [69] yapılan çalışmada, 1997 yılında yapmış oldukları [60]. diğer çalışmanın kullanılabilirliğini göstermek için, BMHDP-1 için geliştirilen ve en yakın dal-sınır algoritmaları olan Johnson tarafından "FABLE" [70]., Nourie ve Venta tarafından "OptPack" [71] ve Hoffmann tarafından "EUREKA" [18] yöntemleriyle karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırmadan sonra basit problemde en hızlı çözüm yönteminin OptPack, zor problemlerde de SALOME yönteminin diğer yöntemlerden daha kullanışlı olduğu ispatlanmış, bunun yanı sıra bazı numaralandırma ve baskınlık kurallarıyla bu yöntemin geliştirilebileceğini ortaya koymuştur.

Sarin, Erel ve Dar-El tarafından 1999 yılında [72] yapılan çalışmada, belirlenen çevrim süresi (cycle time) içinde tamamlanamayan işlerden kaynaklı durumlar için gerçekleşen maliyetleri hesaplamak ve oluşan bu fazla maliyetleri en aza indirgeyerek, toplam

maliyeti düşürecek çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalarda dal-sınır algoritması kullanılmıştır.

Gökçen ve Erel tarafından 1999 yılında [73] yapılan çalışmada, karışık modelli bir şekilde yerleşik olan montaj hattında, hat dengeleme problemi en kısa yol metoduna dayalı bir algoritma sistemi geliştirilmiştir. En kısa yol metodu kullanılırken, iş istasyonlarındaki işlem sayısı ve çevrim süresi (cycle time) sabittir. Ayrıca, modellerin öncelik diyagramları daha önceden belirlenmiş olup istasyonlar arasında acil tampon bölgeleri bulunmamalıdır. Bu yöntemde dikkat edilecek bir diğer husus ise paralel istasyonların kullanılmaması gerektiği ve ortak işlerin aynı istasyona atanması gerektiğidir.

Celano, Fichera, Grasso, La Commare ve Perrone tarafından 1999 yılında [74] yapılan çalışmada, toplam montaj hattı boyunca istasyonda gerçekleşen duruş sürelerini minimize etmek ve bileşen kullanımını kolaylaştıran algoritma üzerinde çalışmalar yapmışlardır.

Nakade ve Ohno tarafından 1999 yılında [75] yapılan çalışmada, ilk olarak çevrim süresini (cycle time) değiştirmeyecek minimum sayıdaki operatör sayısı belirlenmiş olup sonrasında bu operatörlerin işlem süreleri dengeli olarak iş istasyonlarına atanmıştır. Bu çalışmada operatörlerin yürüme ve bekleme süresi de dikkate alınmıştır.

Matanachai ve Yano tarafından 2001 yılında [76] yapılan çalışmada, iş istasyonunda gerçekleşen iş düzeninin, istasyonlar arası dengeli şekilde iş istasyonlarına atanmasını sağlayan ölçümleme dakika dakika hassasiyetiyle yapılmıştır. Bu çalışmada, kısa dönem iş yüklerinin daha uygun şekilde gerçekleştirilmesini sağlayan yeni amaçlar sunulmuştur. Önerilen sezgisel yöntemde, ırsın demeti araştırmasına dayalıdır. Yapılan bu çalışma sonucunda, ölçümlemeyle elde edilen sayısal sonuçların, küçük problemler için optimum çözüm elde ettiğini göstermiştir.

Ağpak, Gökçen, Saray ve Özel tarafından 2002 yılında [77] yapılan çalışmada, görev zamanlarının normal olarak dağıldığı U tipi hatlar için COMSOAL metodu temel alınarak sezgisel bir prosedür geliştirmişlerdir. U tipi montaj hattı dengeleme problemi çözümü için Pascal dilinde programlanış tam sayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Çalışmada, her bir iş istasyonu için işletme yönetimi tarafından belirlenen güvenlik seviyesi kısıtı altında, görevlerin, istasyon sayısı en küçük olacak şekilde atanması hedeflenmektedir. Bu çalışma, U tipi montaj hattı literatürdeki ilk bulanık tamsayı

programlama çalışmasıdır. Çalışmanın amacı her bir istasyon için, önceden belirlenen güvenlik stoğu dikkate alınarak, görevlerin istasyon sayısı en aza indirgeyerek atanmasıdır.

Bukchin, Ezey, Dar-El ve Rubinovitz tarafından 2002 yılında [78] yapılan çalışmada, karışık modelli montaj hattı dengeleme problemlerinde, iş istasyonu maliyetlerini en aza indirmeyi hedefleyen dal-sınır tekniğine dayalı optimal algoritma geliştirmişlerdir. Bu algoritma, geleneksel modeller ve seçilen model arasındaki farklılıklar dikkate alınarak geliştirilmiştir.

Simaria ve Vilarinho tarafından 2002 yılında [79] yapılan çalışmada, öncelikle çift taraflı montaj hattı dengeleme optimizasyonu önerilmiş, sonrasında da daha büyük boyutlu çift taraflı montaj hattı dengeleme problemlerinin çözülmesi için karınca kolonisi optimizasyonu kullanılmıştır.

Jin ve Wu tarafından 2003 yılında [80] yapılan çalışmada, ‘Varyans Algoritması’ adı verilen yeni bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir.

Karabatı ve Sayın tarafından 2003 yılında [81] yapılan çalışmada, montaj hattı dengeleme problemini, çevrimsel bir sıralama yaklaşımı altında incelemişlerdir. Çevrimsel sıralama bilgisi dâhil ederek, toplam çevrim süresi (cycle time) en aza indirmek üzerine çalışmalar yapılmıştır. Karışık modelli montaj hatlarında, çalışma zamanını ekleyerek tek bir matematiksel modelle birleştiren bir matematiksel çözümün istasyonlar arası transfer edilen montaj hatları için uygun olmadığını bunun yerine, maksimum alt devir zamanını en aza indirmeyi amaçlayan bir sezgisel yaklaşım geliştirmişlerdir.

Fleszar ve Hindi tarafından 2003 yılında [82] yapılan çalışmada, Hoffmann tarafından 1963 yılında [18] yapılan çalışmada, geliştirilmiş olan “Öncelik matrisi ile çözüm” yöntemini geliştirerek yeni bir sezgisel algoritma ve indirgeme yöntemi sunmuşlardır. Çalışmanın amacı, Hoffmann’ın yönteminin uygulamasında, ortaya çıkan birden fazla istasyonda boş sürenin çift yönlü yaklaşımla en aza indirgemesidir.

Lapierre, Ruiz ve Soriano tarafından 2004 yılında [83] yapılan çalışmada, BMHDP-1 için tabu search algoritmasını geliştirmişlerdir. Tabu araştırmasında, iki çelişkili komşuluk araştırılmıştır. Bunlardan biri, yeniden konumlandırılması ihtiyacını gidermek üzere;

montaj hattının iki yanında da işlem gerçekleştirilmesi gereken büyük ürünlerdeki hat tasarımının gerçekleştirilmesi, diğeri de sunulan tasarımın analiz edilerek, pratik uygulanabilirliği araştırılmıştır.

Bock, Rosenberg ve Brackel tarafından 2004 yılında [84] yapılan çalışmada, gerçek zamanlı kontrol yaklaşımını geliştirmişlerdir. Bu yöntemle, iş istasyonlarında gerçekleşen işlemlerde kısa süreli gerçekleşen işlemlerin birleştirilmesiyle, uygun bir üretim planlama yöntemini geliştirmek üzere matematiksel bir model oluşturmuşlardır. Bu modelde, istasyonlar arası model geçişi konveyör yardımıyla yapılmakta olup arada tampon yardımcı bölümler yoktur. Montaj hattı m adet iş istasyonuna bölünür ve her iş istasyonunda önceden belirlenmiş olan “ n ” kadar işlem “ k ” adet operatör tarafından gerçekleştirilir. İş yükünün fazla olduğu ya da iş akışı olmayan dengelenmemiş iş istasyonlarına, tecrübeli operatörlerin oluşturmuş olduğu havuzdan atama yapılarak, yığılma gerçekleşen istasyonlarda kapasite artırımı sağlanmıştır.

Simaria ve Vilaringo tarafından 2004 yılında [85] yapılan çalışmada, üretim oranını arttırmak amacıyla karışık modellenli bir montaj hattını dengelemeye çalışmıştır. Bu çalışmada matematiksel programlama yöntemi ve genetik algoritma tabanlı prosedür kullanılarak dengelenme yapılmaya çalışılmıştır.

2.10.6. 2005-2014 Yılları Arasında Montaj Hattı Dengelenmesi Konusunda Yapılmış Olan Literatür Çalışmaları

Ağpak ve Gökçen tarafından 2005 yılında [86] yapılan çalışmada, 0-1 integral programlama modeli geliştirilerek, GAMS-CPLEX matematiksel programlama modeli kullanılarak çözümü yapılmıştır. Çalışmanın amacı, istasyon sayısını ve kullanılan kaynakları en aza indirerek montaj hattını dengelemektir.

Scholl ve Becker tarafından 2006 yılında [87] yapılan çalışmada, ilgili tarihe kadar yapılmış olan ve MHDP için yönlendirici olan çalışmalar üzerine araştırmalar yapılmıştır.

Sotskov, Dolgui ve Portmann tarafından 2006 yılında [88] yapılan çalışmada, işlem süresinin sabit olmadığı manuel operasyonlar incelenmiştir. Bu çalışmaya göre, manuel operasyonlarda, çevrim süresi (cycle time) ve istasyon arasındaki sürenin fazla olması durumunda, bandın dengesi aynı seviyededir. Çalışmada, manuel işlem sürelerindeki bağımsız değişkenlerin, maksimum değerlerinin nasıl hesaplanacağı konusunda

alışmalar yapılmıştır. Çalışmanın amacı, manuel işlem sürelerinin maksimum hesaplamasının yapılarak sınır aralıklarının belirlenmesidir.

Gökçen, Ağpak ve Benzer tarafından 2006 yılında [89] yapılan çalışmada, üretim sisteminin etkinliğinin ve kaynak kullanımının arttırılması için, paralel bitişik hatların bazı istasyonlarının iş yüklerinin birleştirilmesini önermişlerdir. Bu şekilde birden fazla hattın ortak şekilde dengelenmesi sağlanmıştır.

Wu, Jin, Bao ve Hu tarafından 2008 yılında [90] yapılan çalışmada, problemin çözümünde dal-sınır algoritmasını kullanmıştır. Ayrıca istasyon sayısının en az olması istenen tip-1 montaj hattı dengeleme problemlerinin çözülmesi için doğrusal olmayan matematiksel modelleme önerilmiştir. Çalışmada her iki tarafta yapılabilmekte olan operasyon adedinin yüksek olmasından dolayı, numaralandırma ağacı kontrolü mümkün olmayan büyüklüğe ulaşmıştır. Bu durumu ortadan kaldırmak için, operasyonları gruplandırmıştır. Bu gruplandırma da daha önceden belirlediği kurallara göre gerçekleştirilmiştir.

Baykaşoğlu ve Dereli tarafından 2008 yılında [91] yapılan çalışmada, en uygun değer sonucuna ulaşabilmek için karınca kolonisi tekniğini kullanmıştır. İş istasyonu sayısını en aza indirmeyi hedefleyen bu çalışmada, aynı anda Agrawal'ın formülünü kullanarak iş bağımsızlığını da en yüksek seviyeye çekmek çalışmaktadır. Çalışma pozisyonel kısıtları göz önüne alarak sonuç aramaktadır.

Xiaofeng, Wu ve Ye tarafından 2008 yılında [92] yapılan çalışmada, istasyon tabanlı algoritma geliştirerek, çift taraflı montaj hattı dengeleme problemine çözüm aramıştır. Öncelikli olarak 44 transfer fonksiyonu tanımlanmıştır. Bu transfer fonksiyonlarında en erken ve en geç başlama zamanlarını belirlemek için öncelik ilişkileri oluşturulmuştur. Çevrim süresi (cycle time) ve yön kısıtları göz önünde bulundurularak, soldaki iş istasyonundan sağdaki iş istasyonuna doğru istasyon tabanlı bir süreç geliştirilmiştir. Önerilen çözümde, Hoffmann'ın sezgisel yaklaşımıyla birleştirilip probleme çözüm aranmıştır.

Kalender, Yılmaz ve Türkbey tarafından 2008 yılında [93] yapılan çalışmada, istatistiksel dağılımlarda geçmiş verilerin olmaması durumunda uygulanamayacağı için, yeni bir

algoritma önermiştir. Yeni algoritma Java programlama dili ile yapılmış ve algoritmanın doğruluğunu incelemek için bir montaj hattında uygulama yapılmıştır.

Özcan ve Toklu tarafından 2009 yılında [94] yapılan çalışmada, çift taraflı montaj hattı dengeleme problemi çoklu-kriter karar verme tekniğiyle en uygun hale getirilmeye çalışmıştır. Çalışmayla hedef programlama, matematiksel model ve bulanık mantık yaklaşımı kullanılmıştır. Aynı istasyon sayısı, çevrim süresi (cycle time) ve her bir istasyona atanan operasyon sayısı hedef 45 olarak ifade edilmiştir.

Özcan ve Toklu tarafından 2009 yılında[95] yapılan bir diğer çalışmada da farklı çalışmayla çift taraflı montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümü için tabu arama algoritmasını önermiştir. Düzgünlük indeksi ve hat etkinliği performans ölçütü olarak değerlendirilmiştir.

Çerçioğlu, Özcan, Gökçen ve Toklu tarafından 2009 yılında [96] yapılan çalışmada, üretim sisteminin etkinliğinin ve kaynak kullanımının artırılması için, paralel bitişik hatların bazı istasyonlarının iş yüklerinin birleştirilmesini önermişlerdir. Çalışmada, paralel montaj hattı dengeleme problemi için tavlama benzerimi tabanlı bir çözüm önerilmiş, sayısal verilerle de bir uygulama üzerinde uygulama yapılmıştır.

Özcan tarafından 2010 yılında [97] yapılan çalışmada, çift taraflı montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümü için parçalı doğrusal, şans kısıtlı, karma tamsayılı programlamayı önermiştir. Bu çalışmadan önce yapılan çalışmalarda iş istasyonlarında geçireceği sürenin belirli olduğu kabul edilen operasyon süreleri, bu çalışmada stokastik olarak değerlendirilmiştir. İşlemcilerin eğitim eksikliği, motivasyon eksikliği, makine aksamalarından kaynaklanan süre değişiklikleriyle kalifiye olmayan işlemciler olması nedeniyle süreler stokastik olarak değerlendirilmiştir. Test problemleri karma tamsayılı programlama ve benzetimli tavlama yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Bu çözüm sonrasında da etkili bir sonuca ulaşılmıştır.

Taha, El-Kharbotly, Sadek ve Arifa tarafından 2011 yılında [98] yapılan çalışmada, çift taraflı montaj hattı dengeleme problemleri genetik algoritma yaklaşımıyla iyileştirilmeye çalışmıştır. Çalışmada, her iki tarafta yapılan işler rastsal bir şekilde sağa ve sola dağıtılmamış, yön atama kuralına göre atamalar yapılmıştır. Genetik algoritma ile çözüm uzayının çeşitli yerlerinde başlangıç popülasyonları oluşturularak, uygun çözüm

aranmıştır. Sınırlı sayıda adım sonrasında, algoritma en uygun sonuca ve bu sonuca yakın çözüm kümesine ulaşmıştır.

Chutima ve Chimklai tarafından 2012 yılında [99] yapılan çalışmada, parçacık sürü optimizasyonu tekniği, çift taraflı montaj hattı dengeleme problemlerinin için kullanılmışlardır. Çalışmada negatif bilgiyle parçacık sürü optimizasyon algoritması, karışık modelli çift taraflı montaj hattı dengeleme problemlerine uygulanmıştır.

Kalaycı tarafından 2012 yılında [100] yapılan çalışmada, ürün geri kazanımında (geridönüşüm), çevresel olumsuz etkileri maliyet etkin bir şekilde ortadan kaldırmak için geri dönüşüm ve yeniden üretim yoluyla eski veya modası geçmiş ürünlerden malzeme ve parçalar elde etmeyi amaçlamaktadır. Ürünün montaj hattı gibi demontaj hattında da iş istasyonlarının sayısını minimuma indirirken, toplam rölanlı süresini en aza indirerek, her bir iş istasyonunda benzer boşta kalma süreleri sağlamanın yanı sıra talep gibi diğer demontaj çözümü dizisi elde etmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, en uygun çözümlere daha hızlı ulaşmak için ant koloni optimizasyonu, nehir oluşum dinamiği, tabu arama, parçacık sürü optimizasyonu, simüle tavlama, hibrid genetik algoritmalar gibi hızlı ve etkili algoritmalar ve yapay arı kolonisi optimizasyon yaklaşımları, diziye bağlı demontaj hattı dengeleme problemine uygulanmıştır.

Sahu tarafından 2012 yılında [101] yapılan çalışmada, Toyota üretim sistemi modeli, histogram modeli ve maliyet minimizasyon yöntemi kullanılarak, envanter akışını kontrol etmek için, bir Kanban kontrol sistemiyle uygulanan tam zamanlı üretim sistemine odaklanılmıştır. Çeşitli üretim koşullarında gerekli olan kanunların hesaplanmasında histogram modelinin ve maliyet minimizasyon modellerinin daha doğru olduğu sonucuna varılmıştır.

Saavedra tarafından 2012 yılında [102] yapılan çalışmada, yeniden yapılandırma tasarımı ilkelerini kullanarak yeniden işlenebilirliği arttırmak amacıyla, bir montaj hattında tek bir yeniden işleme istasyonunun yerini belirlemek için çalışma yapılmıştır. Ürünün yeniden işlenebilirlik endeksini önermek için, montaj hattında 17 adımda yeniden yapılandırma tasarımı yönergesi kullanılmıştır. Yeniden işlenebilirlik endeksi, kırılma noktalarını bulmak için maliyet endeksi ile karşılaştırılmıştır.

Cziha tarafından 2012 yılında [103] yapılan çalışmada, tamamen otomatik montaj hattı sisteminde, genel ekipman etkinliğiyle (overall equipment effectiveness) ilgili gereklilikleri yerine getirmek için montaj sisteminin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır.

Güngör ve Akkaya tarafından 2012 yılında [104] yapılan çalışmada, iş istasyonlarına ilave edilecek makinelerin, üretim artışına ve etkinliğe bağlı olarak birim maliyeti düşürdüğü bir montaj hattında uygulama yapılarak gösterilmiştir. Bu çalışmada öncelikle hat dengeleme yapılmış, sonrasında da dengelenmiş hattaki birim gider hesaplanması yapılarak birim maliyete etkisi incelenmiştir.

Güden ve Meral tarafından 2013 yılında [105] yapılan çalışmada, belirlenmiş olan üretim sayısına ulaşmak için, istasyon sayısını en aza indirmek amaçlanmıştır. Problemin çözümünde matematiksel modelleme çözümü başarılı olamamıştır. Bu sebeple çözüm için düzeltmeli tavlama benzetimi sezgiseli geliştirilmiştir ve bu şekilde iyileştirme sağlanmıştır.

Mete ve Ağpak tarafından 2013 yılında [106] yapılan çalışmada, büyük boyutlu ürünlerde her iki taraf kullanılarak yapılan çift taraflı montaj hatlarında dengeleme yapılmıştır. Çözüm, kaynak kısıtlı çift taraflı montaj hatları için matematiksel model sunulmuştur.

Baykasoğlu ve Demirkol tarafından 2014 yılında [107] yapılan çalışmada, işlem süreleri birbirinin aynısı olan ancak birbirinden farklı iki iş istasyonunda, zorlanma derecesine göre, hat dengelenmesi yapılmıştır. Dengeleme yapılırken, her istasyon için kabul edilecek maksimum risk seviyesi belirlenmiş, belirlenen ergonomik risk seviyesine göre de dengelenme yapılmıştır.

Eryürük, Kalaoğlu ve Baskak tarafından 2014 yılında [108]. çalışmada, etek üretimi yapılan bir atölyede, konum ağırlıklı montaj hattı dengelemesi yapılmıştır.

Aksoy, Yıldız ve Altınova tarafından 2014 yılında [109] yapılan çalışmada, U-tipi montaj hattı için hat dengeleme çalışması yapılmıştır. Dengeleme çalışması sonucunda hattın istasyon sayısı değişmezken, çevrim süresinde (cycle time) iyileşme görülmüştür. Oluşan yeni çevrim süresiyle (cycle time)hattın etkinliği yeniden hesaplanmıştır. Hesaplama sonucunda hattın etkinliğinde artış görülmüştür.

Foroughi ve Gökçen tarafından 2014 yılında [110] yapılan çalışmada, IBM ILOG CPLEX 12.4 yazılımı yardımıyla küçük ve orta boyutlu problemler için, görev sürelerinin stokastik olduğu maliyet tabanlı montaj hattı dengeleme çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada, elde edilen optimal sonuçlar, aynı problemin zaman tabanlı yaklaşımla elde edilen optimal sonuçları, istasyon sayısı ve toplam işgücü maliyeti açısından karşılaştırılmıştır.

Kayar ve Akalın tarafından 2014 yılında [111] yapılan çalışmada, bir montaj hattında, mevcut durumdaki operasyon süreleri incelenerek, konum ağırlık yöntemiyle montaj hattı dengeleme çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada, öncelikle metot analizi yapılmış, yapılan metot analizinin montaj hattı etkinliği ve üretim hacmine etkisi incelenmiştir.

Karabay tarafından 2014 yılında [112] yapılan çalışmada, göreceli pozisyon ağırlıklı sezgiselinin ve iki pratik hat dengeleme yönteminin performanslarının karşılaştırılması uygulamalı olarak yapılmıştır.

Güngör ve Ağaç tarafından 2014 yılında [113] yapılan çalışmada, COMSOAL kullanılarak montaj hattı dengeleme problemleri ve çözüm önerileri üzerinde durulmuştur. Çalışmada, farklı parti büyüklüğünde ve farklı modelde siparişlerin en etkin şekilde montajının sağlandığı hatların kurulması ve müşterilere istenilen kalitede, istenilen etkinlikte ve minimum maliyetle hızlı şekilde ürünleri teslim etmek için montaj hatlarının dengelenmesi amaçlanmıştır.

2.10.7. 2015-2019 Yılları Arasında Montaj Hattı Dengelenmesi Konusunda Yapılmış Olan Literatür Çalışmaları

Akın tarafından 2015 yılında [114] yapılan çalışmada, hat dengeleme ve benzetim tekniklerini kullanarak, çalışmanın yapıldığı montaj hattının performansının artırılması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında öncelikle konum ağırlıklı hat dengeleme yöntemiyle iş istasyonu sayısı azaltılmıştır. Elde edilen sonucun değerlendirilebilmesi için ARENA yazılımıyla mevcut ve önerilen durumlar için benzetim modelleri hazırlanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Pearce tarafından 2015 yılında [115] yapılan çalışmada, matematiksel modelleme olan tam sayılı montaj hattı dengeleme yöntemi ve iyileştirme sezgisel yöntem beraber

kullanılmıştır. Geliştirilen bu yeni yöntem, bir montaj hattında uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Dhulia tarafından 2015 yılında [116] yapılan çalışmada, montaj hattındaki makine ve insan gücünün belirlenmesi için, uygun otomasyon düzeyine göre sistematik prosedür oluşturulmasına yönelik çalışma yapılmıştır. Çalışma yapılırken, üretim hacmi, üretim akışı ve diğer faktörler dikkate alınmış, sonuç olarak 2 yöntem, 2 farklı imalat firmasında 4 farklı ürün hattında denenmiş, bant seviyesinde uygun otomasyon düzeyi belirlenmesine de, iş istasyonu seviyesinde etkinlik artışı gözlenmiştir.

Martinez-Contreras tarafından 2015 yılında [117] yapılan çalışmada, düz montaj hattındaki dengeleme problemini çözmek için kullanılan sezgisel kurallar, U-tipi montaj hattı için uyarlanmıştır. Bu çalışmada, doğrudan ve dolaylı kodlanmış 2 genetik algoritma kullanılmıştır. Yeni geliştirilen algoritmalar literatürdeki bilinen problemlerle karşılaştırılmış ve diğer sezgisel yaklaşımlara göre performansları iyi performans gösterdiği görülmüştür.

Diri, Mete, Çil ve Ağpak tarafından 2015 yılında [118] yapılan çalışmada, stokastik sıra-bağımlı hazırlık zamanlarını dikkate alan montaj hattı dengeleme problemi incelenmiştir. Problemin çözümüne yönelik matematiksel model önerilmiş ve belirli test problemleri üzerinde hesaplamalar yapılmıştır.

Karabulut ve Erginel tarafından 2015 yılında [119] yapılan çalışmada, teslim zamanları belirli olan ürünler için stoksuz ve tam zamanında üretim yöntemleri geliştirilmiştir. Problem, sıralama ve çizelgeleme olarak iki aşamada ele alınmıştır. Sıralama aşamasında, otomobil modellerin montaj hattındaki iş sıraları değiştirilmiş goal chasing metoduna göre sıralanmıştır. Çizelgeleme aşamasında ise, üretim düzgünleştirme modellerini de içeren üç çözüm yaklaşım önerilmiş ve işletmenin ulaşmak istediği dengeli üretim için önceliklerinin ve kısıtlarının göz önünde bulundurulduğu çözüm seçenekleri elde edilmiştir. Bu çözümler maliyet ve geç karşılanan araç sayısı ölçütlerine göre karşılaştırılmış ve geriye doğru çizelgeleme modeli seçilmiştir.

Mroue tarafından 2016 yılında [120] yapılan çalışmada, üretim maliyetini ve süresini azaltmak için, üretim parçalarını en iyi şekilde kullanmak için üç yeni algoritma geliştirilmiştir. İlk çalışma, yeni bir teorik araç seti sunarken, üretim ve fraksiyonel

hücrelerin oluşumunu optimize etmeyi amaçlamaktadır. İkincisi, üretim maliyetlerini ve sürelerini en aza indiren sezgisel bir model aracılığıyla parça yönlendirmenin optimizasyonuna odaklanmıştır. Son algoritma, yeni makinelere yatırım yaparak veya esnek üretim bağlamında mevcut olanların yükseltilmesi yoluyla üretim işletmelerinin kârlarını maksimize eden yeni bir yöntem sunmaktadır.

Li tarafından 2016 yılında [121] yapılan çalışmada, ileri planlama ve gerçek zamanlı planlama olmak üzere iki dengeleme şekli üzerinde çalışma yapılmıştır. İleri planlamada, üretimin başlamasından önce görev zamanının iyileştirilmesinin belirleyici olduğu bir planlama çizelgesi geliştirilmiştir. Gerçek zamanlı planlamada ise, görev süresinin iyileştirilmesi rasgele olduğu için, iyileştirmeler yapıldıktan sonra hattı yeniden dengelenmiştir.

Alağuş, Pınarbaşı, Yüzükırmızı ve Toklu tarafından 2016 yılında [122] yapılan çalışmada, karma modelli hatta dengeleme çalışması yapılmıştır. Çalışmanın amacı, istasyon sayısı ve Çevrim süresini (cycle time) en aza indirmektir. Önerilen model literatürdeki örnek problemlerle test edilmiştir ve modelin performansı karma modelli montaj hattı dengeleme problemlerinin matematiksel modeli ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Doğan ve Sakallı tarafından 2016 yılında [123] yapılan çalışmada, görev sürelerinin yaklaşık olarak belli olduğu geleneksel montaj hattı dengeleme problemi çözümü için bir çözüm algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma, savunma sanayinde faaliyet gösteren işletmede uygulanmıştır.

Seleim tarafından 2016 yılında [124] yapılan çalışmada, Max-Plus cebir kullanımının uygulanabilirliğini engelleyen iki sorunu ele almaktadır. Max-Plus cebiri, fiziksel sistemleri modellemek için kullanılan durum uzay denklemlerine benzer doğrusal denklemlerde üretim sistemlerini modelleyebilen matematiksel bir araçtır. Üretim sistemleri için Max-Plus denklemlerin otomatik olarak üretilmesi ve olası herhangi bir olası hat konfigürasyonunun etkin bir şekilde analiz edilmesine ve karşılaştırılmasına olanak veren bir formda sunulması için bir yöntem geliştirilmiştir.

Altunay, Özmütlu ve Özmütlu tarafından 2017 yılında [125] yapılan çalışmada, paralel görev atamalı montaj hattı dengeleme problemi için yeni matematiksel programlama

modeli geliştirilmiştir. Amaç fonksiyonu belirli istasyon sayısı için çevrim süresinin (cycle time) en aza indirgenmesine yöneliktir. Ayrıca önerilen modelin ürettiği sonuçlar açıklayıcı örnek problem yardımıyla analiz edilmiştir.

Kutlak, Düzdar ve Uygur tarafından 2017 yılında [126] yapılan çalışmada, mevcut sac salıncak montaj hattındaki sac salıncaklarına zaman ve metot etüdü çalışması yapılmıştır. Elde edilen operasyon sürelerinin normal dağılıma uygunluğunu test etmek için Minitab kullanılarak dağılım uygunluk testi yapılmıştır. Test sonucunda montaj hattının darboğaz operasyonları belirlenerek denge diyagramları çizilmiştir. Bu çalışmada, otomotiv sektöründeki çok modellen bir montaj hattını dengelenmesi ve yeni bir montaj hattı tasarımı için ilk adım olan montaj hattının mevcut durum analizi yapılmıştır.

Arıkan tarafından 2017 yılında [127] yapılan çalışmada, tip-2 basit montaj hattı dengeleme probleminin çözümü için tabu arama algoritması geliştirilmiştir. Bu çalışma, literatürden alınmış diğer örneklerle de test edilmiştir.

Akpınar tarafından 2017 yılında [128] yapılan çalışmada, tip-2 basit montaj hattı dengeleme problemi ve büyük komşuluk arama algoritması üzerine yapılmıştır. Çalışmaya göre, araç rotalama problemi belirli sayıdaki rota ile belirli sayıdaki müşteriler arasındaki optimum eşleşmeyi bulmak temel amacına sahipken, basit montaj hattı dengeleme problemi tip-2’de belirli sayıdaki istasyon ile belirli sayıdaki montaj işlemleri arasındaki optimum eşleşmeyi bulmaya çalışmaktadır.

Alkan ve Ilgın tarafından 2018 yılında [129] yapılan çalışmada, bir elektronik firmasına ait ana montaj hatlarının ergonomik değerlendirmesi için üç aşamadan oluşan bir yaklaşım önerilmiştir. İlk aşamada firmada bulunan temel montaj hatları üç farklı ergonomik değerlendirme yöntemiyle analiz edilmiştir. İkinci aşamada ergonomik koşulları en kötü olan hat belirlenmiştir. Üçüncü aşamada, hatların katma değersiz süreleri zaman etüdü ile hesaplanmıştır. Korelasyon analizi yapılarak ergonomik koşullar ile katma değersiz süreler arasında ilişki belirlenmiştir.

Atahan, Kapuağası, Koç, Gençosman ve İnkaya tarafından 2018 yılında [130] yapılan çalışmada, üretimdeki darboğazların ortadan kaldırılması, standart zamanın belirlenmesi üzerine çalışma yapılmıştır. Çalışmanın ilk bölümünde, standart zamanları belirlenmiş,

ikinci bölümünde de, karışık modellenli montaj hattı dengeleme problemi için tam sayılı programlama yöntemi geliştirilmiştir.

Özçelik tarafından 2018 yılında [131] yapılan çalışmada, U-tipi ve düz basit montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümü için diferansiyel evrim algoritması geliştirilmiştir.

Küçükkoç tarafından 2018 yılında [132] yapılan çalışmada, uyumsuz iş istasyonlarını içeren karışık modellenli ve çift taraflı montaj hatlarını konu almaktadır. Çalışmada, hat etkinliğini en yüksek seviyeye getirmek için çevrim süresi (cycle time) ve istasyon sayısını en aza indirgeyen yeni bir yöntem önermektedir.

3. UYGULAMA

3.1. Uygulamanın Amacı

Seri üretim yapan firmalar için, montaj hattı dengeleme problemi büyük önem taşımaktadır. Üretilen ürün sayısının yüksek olması ve montaj hattında kullanılan fazla miktardaki malzeme sayısı, montaj hattı dengeleme problemini zorlaştırmakla beraber, hat dengeleme probleminin önemini, yüksek sayıda malzeme kullanılmasının maliyetle ilişkili olduğu için, daha da arttırmaktadır. Nitekim önceki bölümde ele aldığımız literatür çalışmalarının geçmişten günümüze, günümüzde daha yoğun olarak incelenerek, hala devam etmesi, konunun işletmeler için ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Malzeme ve hammaddelelerin mamule dönüştürülmesinde işçilerin ve makinelerin çalışmasıyla, üretim ile ilgili çeşitli maliyet giderlerine katlanılmaktadır.

Bu çalışmada, montaj hattı dengelenmesinde öncelikli olarak istasyon ve işgücü yerleşimi dikkate alınmıştır. İstasyonlara makine ve işgücü dağılımı dengeli olarak yapıldıktan sonra, maliyet hesaplaması yapılmış ve ürün maliyetinin optimize edilmesi amaçlanmıştır.

3.2. Uygulamanın Kapsamı

Uygulama yapılan montaj hattında, iş istasyonları, aşağıdaki karakteristik özelliklere sahiptir.

a. Montaj hattı karışık modellidir.

Montaj hattında birden fazla benzer ürün ya da tek ürünün farklı modelleri, aynı anda ancak karışık sırayla üretilir.

b. Montaj hattı, geleneksel hat yapısındadır.

Hat, birbiri ardına seri olarak sıralanmış iş istasyonlarından oluşmuştur.

c. İşlem süreleri deterministiktir.

Uygulamanın çözümünde deterministik işlem süreleri dikkate alınmıştır.

d. Çevrim süresi (cycle time) bilinmektedir.

Uygulama için, çevrim süresi (cycle time) önceden hesaplanarak hat dengelenme yapılmıştır.

Uygulama yapılan montaj hattında, iş gücü, aşağıdaki karakteristik özelliklere sahiptir.

a. Belirli sayıda beceri grubu bulunmaktadır.

Uygulamada, istasyonlara yerleştirilecek iş gücü, farklı becerilere sahip, bilinen sayıdadır.

b. Her çalışan işgücü, sadece bir istasyonda çalışabilmektedir.

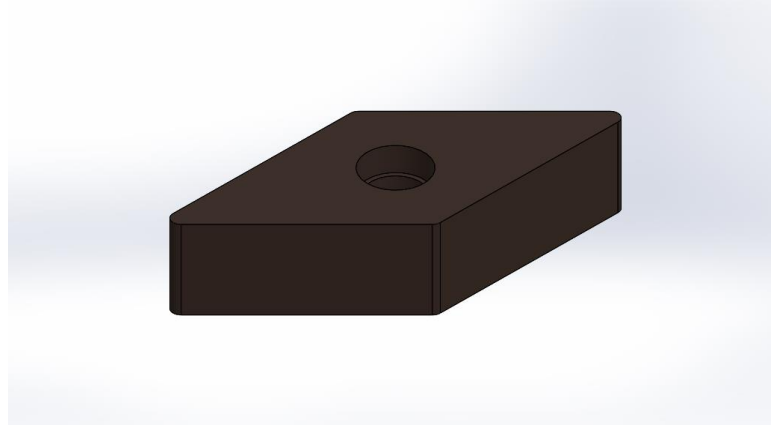
Çalışmada istasyonlar arası işgücü rotasyonlarına izin verilmemektedir.

c. Her çalışan işgücü sadece bir beceri için çalışabilmektedir.

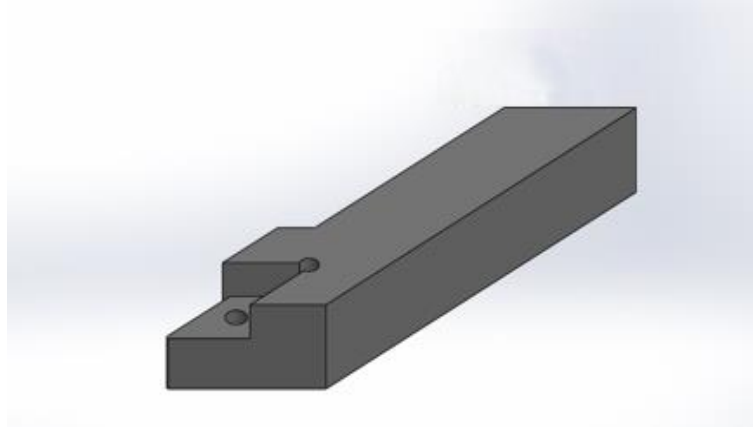
Birden fazla beceriye sahip işgücü için işgücü sadece bir becerisi için çalışabilmektedir.

3.3. Uygulama Yapılacak Ürün Hakkında Bilgi

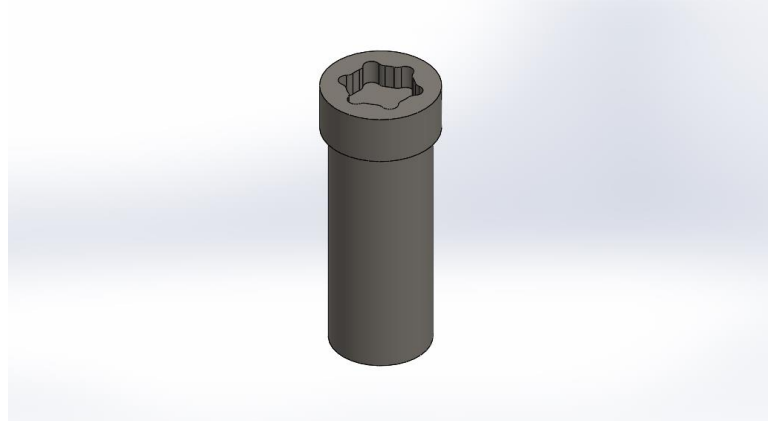
Uygulama çalışması için, dış çap torna kateri üretimi ve montajı yapılacak hat incelenmiştir. Üretilen ürünün çizimleri Solidworks programında çizilmiş olup aşağıda yer almaktadır. (Şekil 3.1.) (Şekil 3.2.) (Şekil 3.3.) (Şekil 3.4.) Üretim hattının görünümü aşağıdaki gibidir. (Şekil 3.5.) Ayrıca ürünün incelenen montaj hattında ilgili operasyon açıklamaları, uygun tezgâhlar, gerekli teçhizatlar, gerekli takımlar/uçlar ve ilgili operasyon süresinin bilgileri yer almaktadır (Tablo 3.1.).



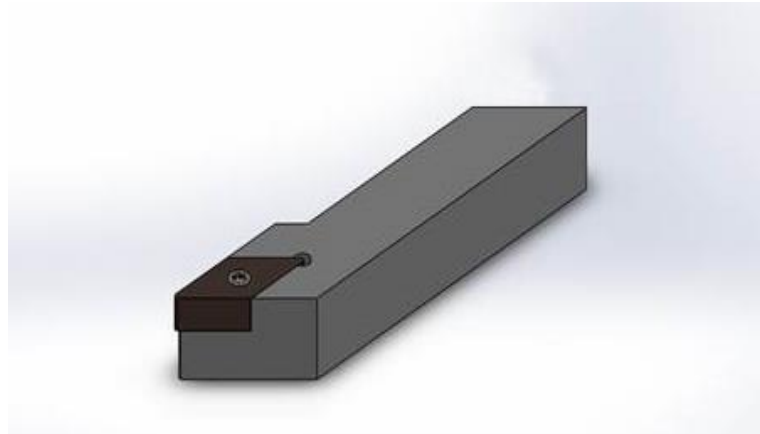
Şekil 3.20. Kesici Uç İzometrik



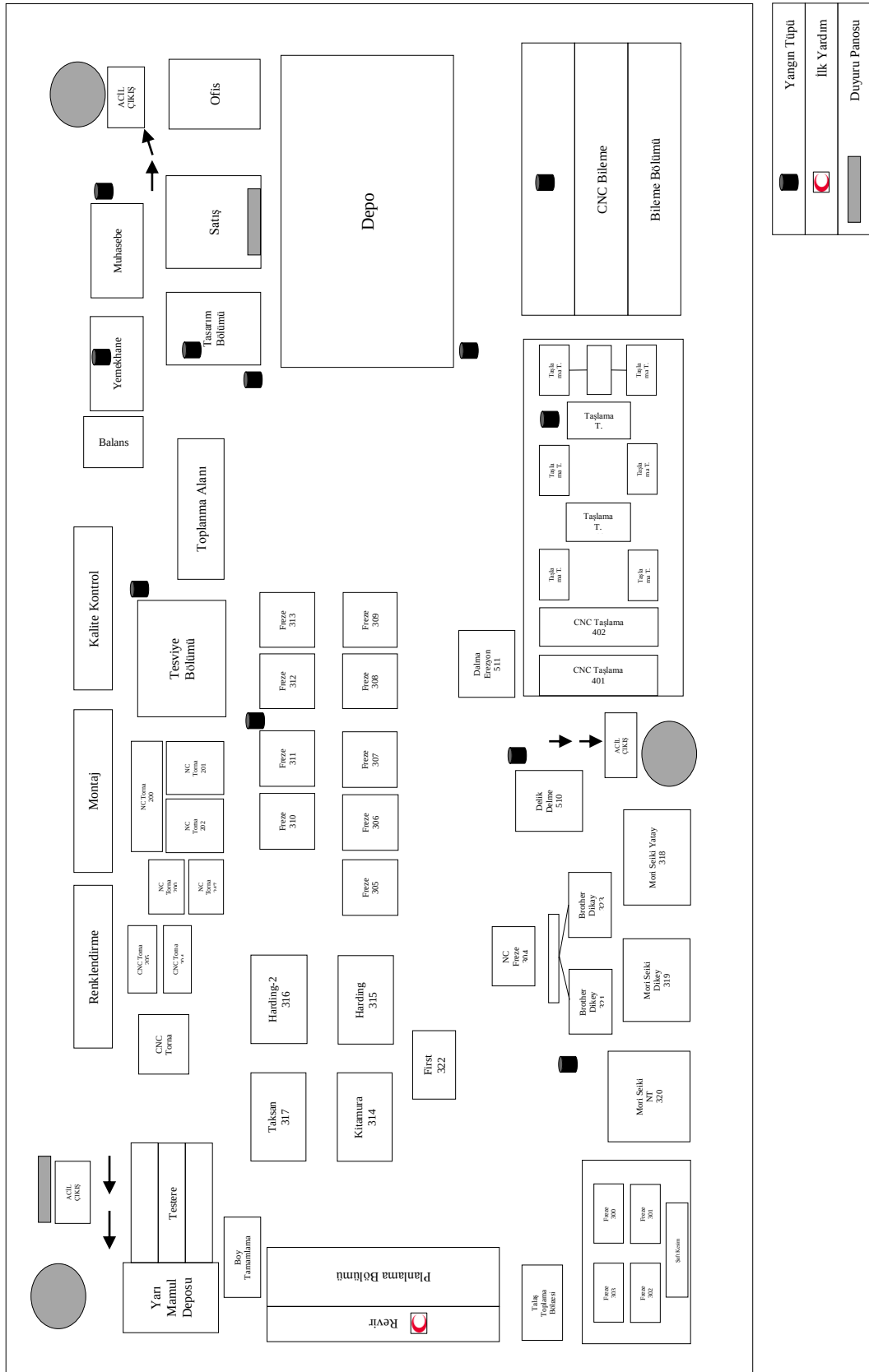
Şekil 3.21. Torna Tutucu



Şekil 3.22. Vida



Şekil 3.23. Nihai Ürün



Tablo 3.1. Ürün İmal Klavuzu

Ürün İmal Klavuzu		
Ürün Grubu	Dış Çap Torna Katerleri	
Operasyon Adı	Operasyon Bilgisi	Operasyon Açıklamaları
Testerede Kesme	Operasyon Açıklaması	İmalata uygun malzeme kesimi yapılır.
	Uygun Tezgahlar	100, 101
	Süre (Dakika)	1
Frezede Kareleme	Operasyon Açıklaması	Kater sap ve kafa boyutlarına frezelenir.
	Uygun Tezgahlar	300, 301, 302, 303, 318
	Süre (Dakika)	5
Yuva Açma	Operasyon Açıklaması	Kesici ucun yuvası boşaltılır. Uç bağlama tipine göre varsa delikler delinip klavuz çekilir. Kanallar açılır.
	Uygun Tezgahlar	306, 308.
	Süre (Dakika)	20
Levy Kanalı	Operasyon Açıklaması	Levyeli katerlerin levy kanallarının boşaltılması.
	Uygun Tezgahlar	306, 308.
	Süre (Dakika)	10
Yuva Frezeleme	Operasyon Açıklaması	Kesici ucun formuna uygun freze kesimleri yapılır.
	Uygun Tezgahlar	301
	Süre (Dakika)	10
Radyüs Frezeleme	Operasyon Açıklaması	Kesici uç şekli "R" tipi olan uçların uca göre frezelemesi yapılır.
	Uygun Tezgahlar	304, 319, 321, 323.
	Süre (Dakika)	10

3.4. Uygulama Aşamaları

Dış çap torna kateri montajı sırasında 6 iş istasyonu incelenmiştir. Bu iş istasyonları sırasıyla; testerede kesme, frezede kareleme, yuva açma, levye kanalı, yuva frezeleme ve radyüs frezeleme'dir.

3.4.1. Montaj Hattı Kapasite Dengeleme Öncesi Hat Analizi

İstasyonlarda iyileştirme yapılmadan önce, her iş istasyonunda işlemlerde kullanılabilecek makine sayıları ve makine süreleri aşağıdaki gibidir (Tablo 3.1.).

Tablo 3.2. Kapasite Dengeleme Öncesi Hat Bilgisi

Operasyonlar	Makine Sayısı (adt)	Makine Süresi (sn)	Makine Süresi (dk)
Testerede Kesme	1	60	1
Frezede Kareleme	1	720	12
Yuva Açma	1	1.200	20
Levy Kanalı	1	600	10
Yuva Frezeleme	1	240	4
Radyüs Frezeleme	1	600	10
Toplam	6	3.420	57

Her istasyonda bir makine kullanıldığı durumda ve montaj hattında iyileştirme yapılmamış güncel durumda, maksimum işlem süresi yuva açma işleminde 20 dakika olarak gerçekleşmektedir. Çevrim süresi (cycle time) maksimum işlem süresine eşittir. Bu durumda, üretim hacmi hesaplaması yapılırken aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır.

$$\text{Üretim Hacmi (adet/saat)} = \frac{60(dk)}{\text{Maksimum İş Süresi}} \quad (3.1.)$$

$$\text{Üretim Hacmi (adet/saat)} = \frac{60}{20} = 3 \text{ adet/saat}$$

Günlük üretim hacmi hesaplamasında aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır.

$$\text{Günlük Üretim Hacmi (adet/gün)} = \frac{60(\text{dk}) \times \text{Günlük Çalışma Süresi (Saat)}}{\text{Çevrim süresi (cycle time) (dk)}} \quad (3.2.)$$

$$\text{Günlük Üretim Hacmi (adet/gün)} = \frac{60(\text{dk}) \times 8(\text{saat})}{20 (\text{dk})} = \mathbf{24 \text{ adet/gün}}$$

Hattın düzgünlük indeksi hesaplaması yapılırken aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır. Düzgünlük indeksi değerinin küçük olması, dengelemenin düzgün olduğunu göstermektedir.

$$\begin{aligned} & \text{Düzgünlük İndeksi (\%)} \\ & = \frac{\sqrt{\sum (\text{İstasyonlardaki En Büyük İşlem Süresi} - \text{İlgili İstasyondaki İşlem Süresi})^2}}{\text{İş İstasyonu Sayısı} \times \text{Maksimum İş Süresi}} \quad (3.3.) \\ & \times 100 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Düzgünlük İndeksi (\%)} \\ & = \frac{\sqrt{[(20 - 1)^2 + (20 - 12)^2 + (20 - 20)^2 + (20 - 10)^2 + (20 - 4)^2 + (20 - 10)^2]}}{6 \times 20} \times 100 \\ & = \mathbf{24,73\%} \end{aligned}$$

Hattın etkinliğinin hesaplaması yapılırken aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır. Etkinliğin yüksek olması, istasyonlara yapılan giderlerin etkinliğini göstermektedir.

$$\text{Hat Etkinliği (\%)} = \frac{\sum \text{İşlem Süresi}}{\sum \text{İş İstasyonu Sayısı} \times \text{Maks. İş İstasyonu Süresi}} \times 100 \quad (3.4.)$$

$$\text{Hat Etkinliği (\%)} = \frac{57}{6 \times 20} = \mathbf{47,5 \%}$$

Hattın kuramsal etkinliği hesaplaması yapılırken aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır. Kuramsal etkinlik, bant etkinliğinin en üst sınırıdır.

$$\text{Kuramsal Etkinlik (\%)} = \text{Düzgünlük İndeksi} + \text{Hat Etkinliği} \quad (3.5.)$$

$$\text{Kuramsal Etkinlik (\%)} = 24,73\% + 47,5\% = \mathbf{72,23 \%}$$

Yapılan hesaplamaları ve bulunan sonuçları bir şablonda göstermek istersek; özet olarak Tablo 3.3. ve Tablo 3.4. incelenebilir.

Tablo 3.3. Hat Dengeleme Öncesi Etkinlik ve Kapasite Hesaplaması

Mak. Say.	Kullanılan Yer	İşlem Süreleri						Σt (dk)	t_{max} (dk)	Üretim Hacmi	Etkinlik (Verim) (%)
		Testerede Kesme	Freze de Kareleme	Yuva Açma	Levy e Kanalı	Yuva Frezeleme	Radyüs Frezeleme				
6	Tümü	1	12	20	10	4	10	57	20	3	47,50%

Tablo 3.4. Hat Dengeleme Öncesi Etkinlik ve Kapasite Hesaplaması (Özet)

Maksimum Üretim (sa/adt)	3
Günlük Üretim Adedi	24
Çevrim Süresi (Cycle Time) (dk)	20
Düzensizlik İndeksi (%)	24,73%
Hat Etkinliği (%)	47,50%
Kuramsal Etkinlik (%)	72,23%

3.4.2. Montaj Hattı Kapasite Dengeleme Sonrası Hat Analizi

Montaj hattı dengeleme için istasyonlarda yapılacak iyileştirme için, istasyonlara eklenmesi planlanan makine sayıları ve makine süreleri aşağıdaki gibidir (Tablo 3.5.).

Tablo 3.5. Kapasite Dengeleme Yapabilmek İçin Eklenebilecek Makine Bilgileri

Operasyonlar	Makine Sayısı (adt)	Makine Süresi (sn)	Makine Süresi (dk)
Testerede Kesme	1	60	1
Freze de Kareleme	3	720	12
Yuva Açma	4	1.200	20
Levy e Kanalı	3	600	10
Yuva Frezeleme	1	240	4
Radyüs Frezeleme	3	600	10
Toplam	15	3.420	57

Tablo 3.5.'te verilen kaynaklara göre, en yüksek saatlik ve günlük üretim adedi kapasitesi ile en yüksek üretim hattı etkinliğine bağlı değişik sayıda alternatif üretim bandı oluşturulmuştur.

Hesaplama için, eldeki mevcut makine sayı ve sürelerine göre iyileştirme yapılmış, satır-sütun ilişkisiyle nümerik çözüm yöntemi kullanılmış, excelde çözüm gerçekleştirilmiştir [103].

Tablo 3.6. Hat Dengeleme Sonrası Etkinlik ve Kapasite Hesaplaması

Mak. Say.	Kullanılan Yer	İşlem Süreleri						Σt (dk)	t_{max} (dk)	Üretim Hacmi	Etkinlik (Verim) (%)
		Testerede Kesme	Freze de Kareleme	Yuva Açma	Levyeye Kanalı	Yuva Frezeleme	Radyüs Frezeleme				
6	Tümü	1	12	20	10	4	10	57	20	3	47,50%
7	Yuva Açma	1	12	10	10	4	10	47	12	5	65,28%
8	Freze de Kareleme	1	6	10	10	4	10	41	10	6	68,33%
9	Yuva Açma	1	6	6,67	10	4	10	37,67	10	6	62,78%
10	Levyeye Kanalı	1	6	6,67	5	4	10	32,67	10	6	54,44%
11	Radyüs Frezeleme	1	6	6,67	5	4	5	27,67	6,67	9	69,17%
12	Yuva Açma	1	6	5	5	4	5	26	6	10	72,22%
13	Freze de Kareleme	1	4	5	5	4	5	24	5	12	80,00%
14	Levyeye Kanalı	1	4	5	3,33	4	5	22,33	5	12	74,44%
15	Radyüs Frezeleme	1	4	5	3,33	4	3,33	20,67	5	12	68,89%

Etkinliğin ve üretim hacminin en yüksek olduğu hesaplama işaretlenmiştir. Maksimum işlem süresi yuva açma ve levyeye kanalı açma işleminde 5 dakika olarak gerçekleşmektedir. Çevrim süresi (cycle time) maksimum işlem süresine eşittir. Bu işaretlemedeki hesaplama adımları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Üretim hacmi hesaplaması yapılırken aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır.

$$\text{Üretim Hacmi (adet/saat)} = \frac{60(dk)}{\text{Maksimum İş Süresi}} \quad (3.6.)$$

$$\text{Üretim Hacmi (adt)} = \frac{60}{5} = 12 \text{ adet/saat}$$

Günlük üretim hacmi hesaplamasında aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır.

$$\text{Günlük Üretim Hacmi (adet/gün)} = \frac{60(dk) \times \text{Günlük Çalışma Süresi (Saat)}}{\text{Çevrim süresi (cycle time) (dk)}} \quad (3.7.)$$

$$\text{Günlük Üretim Hacmi (adt)} = \frac{60(dk) \times 8(saatt)}{5(dk)} = 96 \text{ adet/gün}$$

Hattın düzgünlük indeksi hesaplaması yapılırken aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır.

$$\begin{aligned}
 & \text{Düzgünlük İndeksi (\%)} \\
 & = \frac{\sqrt{\sum (\text{İstasyonlardaki En Büyük İşlem Süresi} - \text{İlgili İstasyondaki İşlem Süresi})^2}}{\text{İş İstasyonu Sayısı} * \text{Maksimum İş Süresi}} \times 100 \quad (3.8.)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Düzgünlük İndeksi (\%)} \\
 & = \frac{\sqrt{[(5-1)^2 + (5-4)^2 + (5-5)^2 + (5-5)^2 + (5-4)^2 + (5-5)^2]}}{6 \times 5} \times 100 \\
 & = \mathbf{14,14\%}
 \end{aligned}$$

Hattın etkinliğinin hesaplaması yapılırken aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır.

$$\text{Hat Etkinliği (\%)} = \frac{\sum \text{İşlem Süresi}}{\sum \text{İş İstasyonu Sayısı} \times \text{Maks. İş İstasyonu Süresi}} \times 100 \quad (3.9.)$$

$$\text{Hat Etkinliği (\%)} = \frac{1 + 4 + 5 + 5 + 4 + 5}{6 \times 5} \times 100 = \mathbf{80\%}$$

Hattın kuramsal etkinliği hesaplaması yapılırken aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır.

$$\text{Kuramsal Etkinlik (\%)} = \text{Düzgünlük İndeksi} + \text{Hat Etkinliği} \quad (3.10.)$$

$$\text{Kuramsal Etkinlik (\%)} = 14,14\% + 80\% = \mathbf{94,14\%}$$

Tablo 3.7. Hat Dengeleme Sonrası Etkinlik ve Kapasite Hesaplaması (Özet)

Maksimum Üretim (sa/adt)	12
Günlük Üretim Adedi	96
Çevrim Süresi (Cycle Time) (dk)	5
Düzgünlük İndeksi (%)	14,14%
Hat Etkinliği (%)	80,00%
Kuramsal Etkinlik (%)	94,14%

3.4.3. Etkinlik Hesaplama İçin Oluşturulan İnternet Sayfası

Satır-sütun ilişkisiyle nümerik çözüm yöntemi kullanılarak yapılan bu çözüm, bu çalışma için yapılan <https://verimlilikhesaplama.com/> isimli internet sayfasında da kodlanmış ve aynı sonuçlar bu çalışmada da elde edilmiştir. İnternet sayfası tüm kodlarıyla birlikte tez aşamasında yazılmıştır. İlgili internet sayfasındaki giriş ve hesaplama adımları da aşağıdaki gibidir.

İlgili internet sitesine girildiğinde açılan görüntü aşağıdaki gibidir.



Verimlilik Hesaplama

Satır-sütun ilişkisiyle nümerik çözüm yöntemi kullanılarak etkinlik hesaplama yapmak için; üretim hattında ya da kullanılacak montaj hattında gereken iş istasyonu sayısını giriniz. Açılan ekranda istasyonda kullanılacak makinelerin bilgilerini girerek, 'Maksimum Etkinlik'e ve 'Maksimum Üretim Hacmi'ne göre en uygun hat yerleşim düzenine ulaşabilirsiniz. Detay görünüm için 'Hesaplamalar' kısmını kullanabilirsiniz.

İş İstasyonu Sayısı

Başla

Şekil 3.25. Etkinlik Hesaplama Sayfa Görüntüsü

İlgili sayfaya giriş yapıldıktan sonra iş istasyonu sayısı girilmiş 'Başla' butonuna basarak, istasyon bilgilerinin girileceği tablonun girilen iş istasyonu kadar oluşması sağlanmıştır.

Bu çalışmada 6 adet iş istasyonu kullanıldığı için iş istasyonu kısmına 6 yazarak başla butonuna basılmıştır.



Verimlilik Hesaplama

Satır-sütun ilişkisiyle nümerik çözüm yöntemi kullanılarak etkinlik hesaplama yapmak için; üretim hattında ya da kullanılacak montaj hattında gereken iş istasyonu sayısını giriniz. Açılan ekranda istasyonda kullanılacak makinelerin bilgilerini girerek, 'Maksimum Etkinlik'e ve 'Maksimum Üretim Hacmi'ne göre en uygun hat yerleşim düzenine ulaşabilirsiniz.
Detay görünüm için 'Hesaplamalar' kısmını kullanabilirsiniz.

Başla

Şekil 3.26. Etkinlik Hesaplama Sayfası İstasyon Sayısı Girişi

Başla butonuna basıldığında açılan görüntü aşağıdaki gibidir.

Verimlilik Hesaplama

Satır-sütun ilişkisiyle nümerik çözüm yöntemi kullanılarak etkinlik hesaplama yapmak için; üretim hattında ya da kullanılacak montaj hattında gereken iş istasyonu sayısını giriniz. Açılan ekranda istasyonda kullanılacak makinelerin bilgilerini girerek, 'Maksimum Etkinlik'e ve 'Maksimum Üretim Hacmi'ne göre en uygun hat yerleşim düzenine ulaşabilirsiniz. Detay görünüm için 'Hesaplamalar' kısmını kullanabilirsiniz.

6

Başla

Makine İsmi	Mac0	Mac1	Mac2	Mac3	Mac4	Mac5
Makine Sayısı						
Makine Süresi						

Hesapla

Şekil 3.27. Etkinlik Hesaplama Sayfası İstasyon Bilgisi

Bu ekranda 'Makine İsmi' yazan alana iş istasyonu isimleri yazılır. 'Makine Sayısı' yazan kısma, iyileştirme yapılacak iş istasyonlarında kullanılabilecek makine sayıları girilir. 'Makine Süresi' kısmına da, iş istasyonunda gerçekleşen süreleri dakika cinsinden girilir. Tablo 3.5.'te belirtilen makine bilgileri girildikten sonra ekran görüntüsü aşağıdaki gibidir (Şekil 3.9.).

Kullanılacak istasyon ve bilgileri girildikten sonra 'Hesapla' butonuna basılır.



Verimlilik Hesaplama

Satır-sütun ilişkisiyle nümerik çözüm yöntemi kullanılarak etkinlik hesaplama yapmak için; üretim hattında ya da kullanılacak montaj hattında gereken iş istasyonu sayısını giriniz. Açılan ekranda istasyonda kullanılacak makinelerin bilgilerini girerek, 'Maksimum Etkinlik'e ve 'Maksimum Üretim Hacmi'ne göre en uygun hat yerleşim düzenine ulaşabilirsiniz. Detay görünüm için 'Hesaplamalar' kısmını kullanabilirsiniz.

Başla

Makine İsmi	Testerede Kesme	Frezede Kareleme	Yuva Açma	Levyje Kanalı	Yuva Frezeleme	Radyüs Frezeleme
Makine Sayısı	1	3	4	3	1	3
Makine Süresi	1	12	20	10	4	10

Hesapla

Şekil 3.28. Etkinlik Hesaplama Sayfası İstasyon Bilgisi Girişi

Hesapla butonuna basıldığında açılan görüntü aşağıdaki gibidir.

Verimlilik Hesaplama

Satır-sütun ilişkisiyle nümerik çözüm yöntemi kullanılarak etkinlik hesaplama yapmak için; üretim hattında ya da kullanılacak montaj hattında gereken iş istasyonu sayısını giriniz. Açılan ekranda istasyonda kullanılacak makinelerin bilgilerini girerek, 'Maksimum Etkinlik'e ve 'Maksimum Üretim Hacmi'ne göre en uygun hat yerleşim düzenine ulaşabilirsiniz.
Detay görünüm için 'Hesaplamalar' kısmını kullanabilirsiniz.

Başla

Makine İsmi	Testerede Kesme	Frezede Kareleme	Yuva Açma	Levyeye Kanalı	Yuva Frezeleme	Radyüs Frezeleme
Makine Sayısı	1	3	4	3	1	3
Makine Süresi	1	12	20	10	4	10

Hesapla

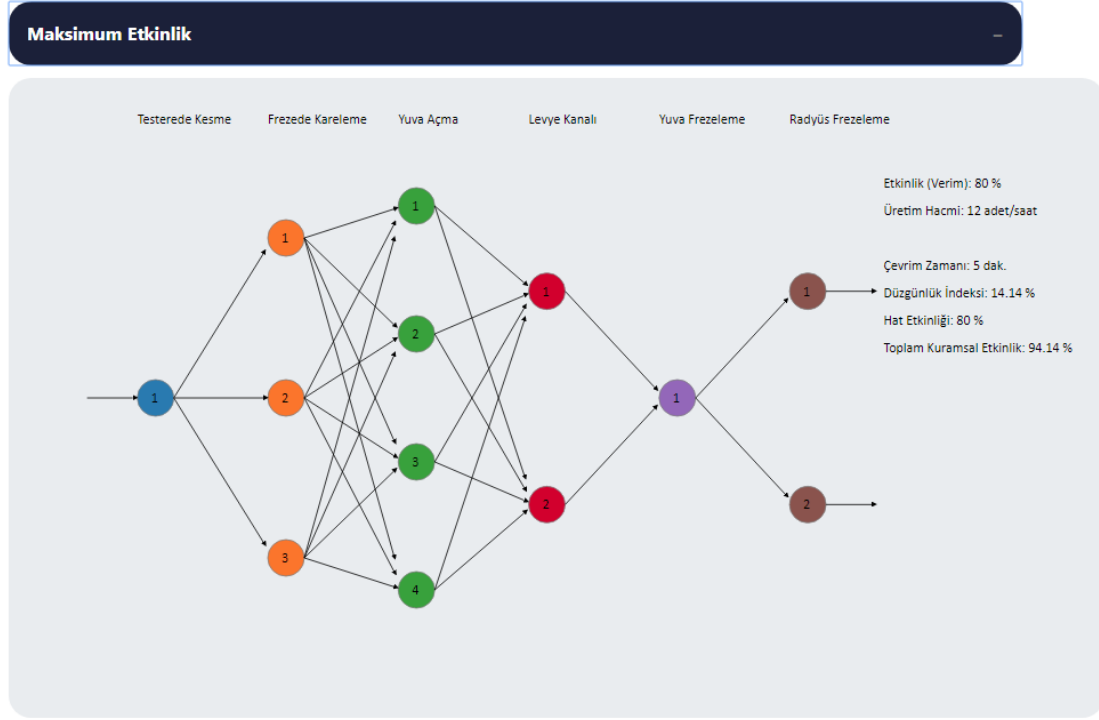
Maksimum Etkinlik+

Maksimum Üretim Hacmi+

Hesaplama+

Şekil 3.29. Etkinlik Hesaplama Sayfası Sonuç Bilgisi

Maksimum etkinlik ya da maksimum üretim hacmi olarak iki şekilde değerlendirme sonucu görülebilir.

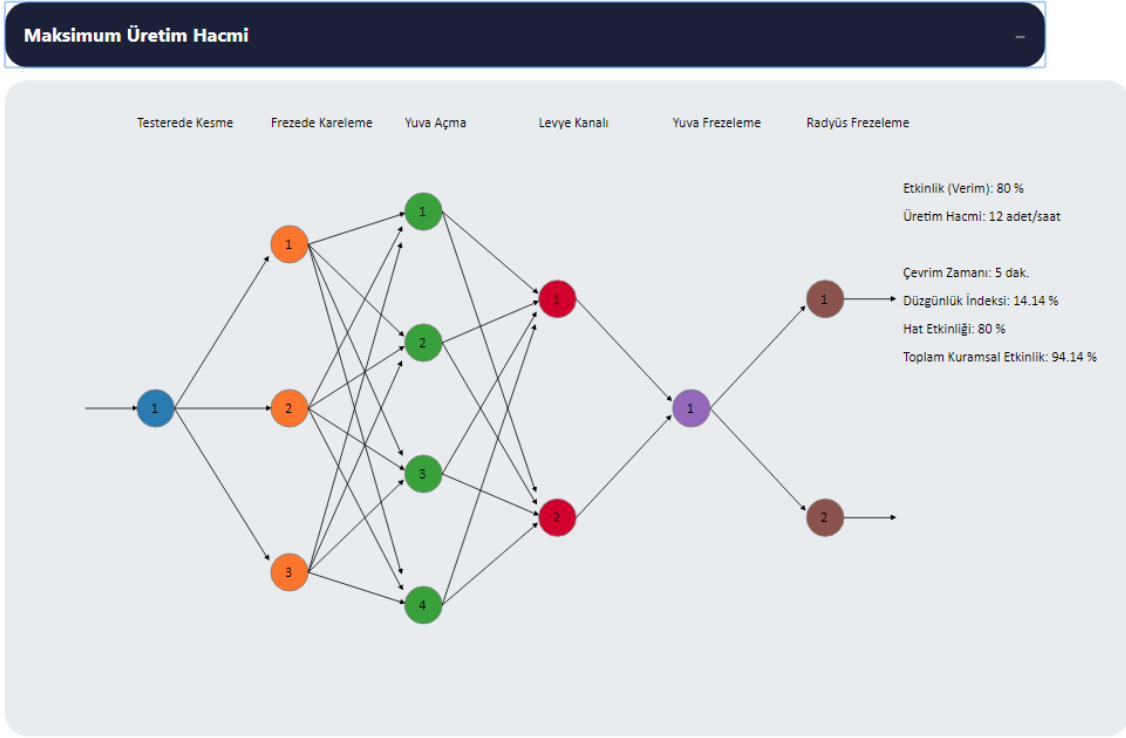


Şekil 3.30. Etkinlik Hesaplama Sayfası Maksimum Etkinlik Bilgisi

Maksimum etkinliğe göre sonuç incelenmek istendiğinde, ilgili sayfada ‘Maksimum Etkinlik’ alanına basılır. ‘Maksimum Etkinlik’ butonuna basıldığında açılan görüntü aşağıdaki gibidir.

Yapılan hesaplamalara göre bulunan maksimum etkinlik sonucunda hat yerleşim düzeni Şekil 3.11.’de görüldüğü gibi olmalıdır. Bulunan etkinlik, üretim hacmi, düzgünlük indeksi, hat etkinliği ve kuramsal etkinlik de sağ tarafta bulunmaktadır.

Maksimum üretim hacmine göre sonuç incelenmek istendiğinde, ilgili sayfada ‘Maksimum Üretim Hacmi’ alanına basılır. Maksimum üretim hacmi butonuna basıldığında açılan görüntü aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.31. Etkinlik Hesaplama Sayfası Maksimum Üretim Hacmi Bilgisi

Yapılan hesaplamalara göre bulunan maksimum üretim hacmi sonucunda hat yerleşim düzeni Şekil 3.12.’de görüldüğü gibi olmalıdır. Bulunan etkinlik, üretim hacmi, düzgünlük indeksi, hat etkinliği ve kuramsal etkinlik de sağ tarafta bulunmaktadır.

Yapılan hesaplamanın detayı incelenmek istendiğinde, ilgili sayfada ‘Hesaplama’ alanına basılır. Hesaplama butonuna basıldığında açılan görüntü aşağıdaki gibidir.

Tablonun sol tarafından tezgâhlara atanan istasyonlar ve bu istasyonların sayı ve süre bilgisi yer almaktadır (Şekil 3.13).

Hesaplama

Tezgah Sayısı	Testerede Kesme Sayısı	Frezele Kareleme Sayısı	Yuva Açma Sayısı	Levy Kanalı Sayısı	Yuva Frezeleme Sayısı	Radyüs Frezeleme Sayısı	Testerede Kesme Süresi	Frezele Kareleme Süresi	Yuva Açma Süresi	Levy Kanalı Frezeleme Süresi	Yuva Frezeleme Süresi	Radyüs Frezeleme Süresi	Toplam Süre	Maksimum Süre	Üretim Hızı
6	1	1	1	1	1	1	1	12	20	10	4	10	57	20	3
7	1	1	2	1	1	1	1	12	10	10	4	10	47	12	5
8	1	2	2	1	1	1	1	6	10	10	4	10	41	10	6
9	1	2	3	1	1	1	1	6	6.67	10	4	10	37.67	10	6
10	1	2	3	2	1	1	1	6	6.67	5	4	10	32.67	10	6
11	1	2	3	2	1	2	1	6	6.67	5	4	5	27.67	6.67	9
12	1	2	4	2	1	2	1	6	5	5	4	5	26	6	10
13	1	3	4	2	1	2	1	4	5	5	4	5	24	5	12
14	1	3	4	3	1	2	1	4	5	3.33	4	5	22.33	5	12
15	1	3	4	3	1	3	1	4	5	3.33	4	3.33	20.67	5	12

Şekil 3.32. Etkinlik Hesaplama Sayfası Hesaplama Makine Bilgileri

Tablonun sağ kısmında koyu renkli olan kısımda da ilgili atamalar sonrası oluşan toplam süre, maksimum süre, üretim hacmi ve etkinlik bilgileri yer almaktadır. (Şekil 3.14)

Hesaplama

Tezgah Sayısı	Testerede Kesme Sayısı	Frezele Kareleme Sayısı	Yuva Açma Sayısı	Levy Kanalı Sayısı	Yuva Frezeleme Sayısı	Radyüs Frezeleme Sayısı	Testerede Kesme Süresi	Frezele Kareleme Süresi	Yuva Açma Süresi	Levy Kanalı Frezeleme Süresi	Yuva Frezeleme Süresi	Radyüs Frezeleme Süresi	Toplam Süre	Maksimum Süre	Üretim Hacmi	Etkinlik (Verim) %
1	1	1	1	1	1	1	1	12	20	10	4	10	57	20	3	47.5
1	2	1	1	1	1	1	1	12	10	10	4	10	47	12	5	65.28
2	2	1	1	1	1	1	1	6	10	10	4	10	41	10	6	68.33
2	3	1	1	1	1	1	1	6	6.67	10	4	10	37.67	10	6	62.78
2	3	2	1	1	1	1	1	6	6.67	5	4	10	32.67	10	6	54.44
2	3	2	1	2	1	1	1	6	6.67	5	4	5	27.67	6.67	9	69.17
2	4	2	1	2	1	1	1	6	5	5	4	5	26	6	10	72.22
3	4	2	1	2	1	1	1	4	5	5	4	5	24	5	12	80
3	4	3	1	2	1	1	1	4	5	3.33	4	5	22.33	5	12	74.44
3	4	3	1	3	1	1	1	4	5	3.33	4	3.33	20.67	5	12	68.89

Şekil 3.33. Etkinlik Hesaplama Sayfası Hesaplama Dengeleme Bilgileri

3.4.4. Montaj Hattı Kapasite Dengeleme Sonrası İşçilik Birim Maliyeti Analizi

İş istasyonlarında çalışacak işçiler; 100, 300, 301, 304, 306, 308, 318 ve 319 olarak numaralandırılmıştır. Yapıldıktan sonra öncelikle işçilik birim maliyeti hesaplaması yapılmıştır.

İşçilik birim maliyeti hesaplanırken öncelikle işçilerin brüt maaş hesaplaması yapılmıştır. Brüt maaş hesaplaması yapılırken aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır.

$$\text{Brüt Maaş (TL)} = \text{Net Maaş} + \text{Yol Ücreti} + \text{SGK} + \text{Vergi} \quad (3.11.)$$

Montaj hattı dengeleme sonrası, istasyonlarda yapılacak işçilik maliyeti hesaplaması için, istasyonlarda çalışan işçilere ait bilgiler ve brüt maaş hesaplamaları aşağıdaki gibidir.

Tablo 3.8. İşçi Brüt Maaş Bilgileri

Personel Numarası	2019/Net Maaş	2019/Yol	2019/Yemek	2019/SGK +Vergi	2019/Brüt Maaş Maaş
100	2.300,00 TL	230,00 TL	177,00 TL	1.118,00 TL	3.825,00 TL
300	2.750,00 TL	230,00 TL	177,00 TL	1.278,00 TL	4.435,00 TL
301	2.100,00 TL	230,00 TL	177,00 TL	1.118,00 TL	3.625,00 TL
304	2.520,00 TL	230,00 TL	177,00 TL	1.118,00 TL	4.045,00 TL
306	3.100,00 TL	0,00 TL	177,00 TL	666,00 TL	3.943,00 TL
308	3.900,00 TL	230,00 TL	177,00 TL	1.411,00 TL	5.718,00 TL
318	3.700,00 TL	230,00 TL	177,00 TL	1.278,00 TL	5.385,00 TL
319	2.400,00 TL	230,00 TL	177,00 TL	1.118,00 TL	3.925,00 TL

İşçilik hesaplaması yaparken, iş istasyonlarına işçiler altı farklı sıralamayla yerleştirilebilir. Bu yerleştirme varyasyonları aşağıda gösterilmiştir (Tablo 3.9.).

Tablo 3.9. İşçi-İş İstasyonu Yerleşim Düzeni Varyasyonları

Ope. / Sıralama	Testerede Kesme	Frezede Kareleme	Yuva Açma	Levyeye Kanalı	Yuva Frezeleme	Radyüs Frezeleme
1	100	300	306	308	301	304
2	100	301	306	308	301	304
3	100	318	306	308	301	304
4	100	300	306	308	301	319
5	100	301	306	308	301	319
6	100	318	306	308	301	319

İstasyondaki işçilik birim maliyetini hesaplamak için öncelikle toplam işçilik maliyeti hesaplanmıştır. Toplam işçilik maliyeti hesaplaması yapılırken aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır.

$$\text{Toplam İşçilik Maliyeti (TL)} = \frac{\sum \text{İstasyonda Çalışan İşçilerin Maaşları}}{\sum \text{İstasyonda Çalışan İşçi Sayısı}} \quad (3.12.)$$

İşçilik maliyeti hesaplaması yapılırken aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır.

$$\text{İşçilik Maliyeti (TL)} = \sum \text{İşçilik Brüt Maaş} \quad (3.13.)$$

Birinci işçi yerleşim sıralamasına göre toplam işçilik maliyeti;

Tablo 3.10. Birinci İşçi Yerleşim Sıralamasına Göre Toplam İşçilik Maliyeti

Operasyon	Ope. Sür. (dk)	Pers. Num.	Pers. Sayısı (adt)	Brüt Maaş (TL/Aylık)	Σİşçilik Maliyeti (TL/Aylık)
Testerede Kesme	1	100	1	3.825,00 TL	3.825,00 TL
Frezele Kareleme	12	300	1	4.435,00 TL	4.435,00 TL
Yuva Açma	20	306	1	3.943,00 TL	3.943,00 TL
Levy Kanalı	10	308	1	5.718,00 TL	5.718,00 TL
Yuva Frezeleme	4	301	1	3.625,00 TL	3.625,00 TL
Radyüs Frezeleme	10	304	1	4.045,00 TL	4.045,00 TL
Toplam					25.591,00 TL

İkinci işçi yerleşim sıralamasına göre toplam işçilik maliyeti;

Tablo 3.11. İkinci İşçi Yerleşim Sıralamasına Göre Toplam İşçilik Maliyeti

Operasyon	Ope. Sür. (dk)	Pers. Num.	Pers. Sayısı (adt)	Brüt Maaş (TL/Aylık)	Σİşçilik Maliyeti (TL/Aylık)
Testerede Kesme	1	100	1	3.825,00 TL	3.825,00 TL
Frezele Kareleme	12	301	1	3.625,00 TL	3.625,00 TL
Yuva Açma	20	306	1	3.943,00 TL	3.943,00 TL
Levy Kanalı	10	308	1	5.718,00 TL	5.718,00 TL
Yuva Frezeleme	4	301	1	3.625,00 TL	3.625,00 TL
Radyüs Frezeleme	10	304	1	4.045,00 TL	4.045,00 TL
Toplam					24.781,00 TL

Üçüncü işçi yerleşim sıralamasına göre toplam işçilik maliyeti;

Tablo 3.12. Üçüncü İşçi Yerleşim Sıralamasına Göre Toplam İşçilik Maliyeti

Operasyon	Ope. Sür. (dk)	Pers. Num.	Pers. Sayısı (adt)	Brüt Maaş (TL/Aylık)	Σİşçilik Maliyeti (TL/Aylık)
Testerede Kesme	1	100	1	3.825,00 TL	3.825,00 TL
Frezede Kareleme	12	318	1	5.385,00 TL	5.385,00 TL
Yuva Açma	20	306	1	3.943,00 TL	3.943,00 TL
Levy Kanalı	10	308	1	5.718,00 TL	5.718,00 TL
Yuva Frezeleme	4	301	1	3.625,00 TL	3.625,00 TL
Radyüs Frezeleme	10	304	1	4.045,00 TL	4.045,00 TL
Toplam					26.541,00 TL

Dördüncü işçi yerleşim sıralamasına göre toplam işçilik maliyeti;

Tablo 3.13. Dördüncü İşçi Yerleşim Sıralamasına Göre Toplam İşçilik Maliyeti

Operasyon	Ope. Sür. (dk)	Pers. Num.	Pers. Sayısı (adt)	Brüt Maaş (TL/Aylık)	Σİşçilik Maliyeti (TL/Aylık)
Testerede Kesme	1	100	1	3.825,00 TL	3.825,00 TL
Frezede Kareleme	12	300	1	4.435,00 TL	4.435,00 TL
Yuva Açma	20	306	1	3.943,00 TL	3.943,00 TL
Levy Kanalı	10	308	1	5.718,00 TL	5.718,00 TL
Yuva Frezeleme	4	301	1	3.625,00 TL	3.625,00 TL
Radyüs Frezeleme	10	319	1	3.925,00 TL	3.925,00 TL
Toplam					25.471,00 TL

Beşinci işçi yerleşim sıralamasına göre toplam işçilik maliyeti;

Tablo 3.14. Beşinci İşçi Yerleşim Sıralamasına Göre Toplam İşçilik Maliyeti

Operasyon	Ope. Sür. (dk)	Pers. Num.	Pers. Sayısı (adt)	Brüt Maaş (TL/Aylık)	Σİşçilik Maliyeti (TL/Aylık)
Testerede Kesme	1	100	1	3.825,00 TL	3.825,00 TL
Frezede Kareleme	12	301	1	3.625,00 TL	3.625,00 TL
Yuva Açma	20	306	1	3.943,00 TL	3.943,00 TL
Levy Kanalı	10	308	1	5.718,00 TL	5.718,00 TL
Yuva Frezeleme	4	301	1	3.625,00 TL	3.625,00 TL
Radyüs Frezeleme	10	319	1	3.925,00 TL	3.925,00 TL
Toplam					24.661,00 TL

Altıncı işçi yerleşim sıralamasına göre toplam işçilik maliyeti;

Tablo 3.15. Altıncı İşçi Yerleşim Sıralamasına Göre Toplam İşçilik Maliyeti

Operasyon	Ope. Sür. (dk)	Pers. Num.	Pers. Sayısı (adt)	Brüt Maaş (TL/Aylık)	Σ İşçilik Maliyeti (TL/Aylık)
Testerede Kesme	1	100	1	3.825,00 TL	3.825,00 TL
Frezele Kareleme	12	318	1	5.385,00 TL	5.385,00 TL
Yuva Açma	20	306	1	3.943,00 TL	3.943,00 TL
Levy Kanalı	10	308	1	5.718,00 TL	5.718,00 TL
Yuva Frezeleme	4	301	1	3.625,00 TL	3.625,00 TL
Radyüs Frezeleme	10	319	1	3.925,00 TL	3.925,00 TL
Toplam					26.421,00 TL

Toplam işçilik maliyeti hesaplandıktan sonra; istasyondaki işçilik birim maliyeti hesaplaması yapılırken aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır.

İşçilik Birim Maliyeti (TL)

$$= \left(\frac{\frac{\Sigma \text{İşçilik Maliyeti (TL)}}{\text{Çalışma Gün Sayısı}}}{\frac{\text{Günlük Çalışma Süresi (Saat)}}{60 \text{ (dk)}}} \right) \times \text{Ope. Sür. (dk)} \quad (3.14.)$$

$$\times \text{İşçi Say. (adt)}$$

Hesaplama yapılırken; çalışma gün sayısı 25 gün, günlük çalışma süresi 8 saat olarak alınmıştır. İşçilik birim maliyeti hesaplaması yapılırken aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır.

$$\text{İşçilik Birim Maliyeti (TL)} = \sum \text{İşçilik Birim Maliyeti} \quad (3.15.)$$

Birinci işçi yerleşim sıralamasına göre işçilik birim maliyeti;

Tablo 3.16. Birinci İşçi Yerleşim Sıralamasına Göre İşçilik Birim Maliyeti

Operasyon	Ope. Sür. (dk)	Pers. Num.	Pers. Sayısı (adt)	Brüt Maaş (TL/Aylık)	Σİşçilik Maliyeti (TL/Aylık)	İşçilik Birim Maliyeti (TL/dk)
Testerede Kesme	1	100	1	3.825,00 TL	3.825,00 TL	0,32 TL
Frezede Kareleme	12	300	1	4.435,00 TL	4.435,00 TL	4,44 TL
Yuva Açma	20	306	1	3.943,00 TL	3.943,00 TL	6,57 TL
Levy Kanalı	10	308	1	5.718,00 TL	5.718,00 TL	4,77 TL
Yuva Frezeleme	4	301	1	3.625,00 TL	3.625,00 TL	1,21 TL
Radyüs Frezeleme	10	304	1	4.045,00 TL	4.045,00 TL	3,37 TL
Toplam					25.591,00 TL	20,67 TL

İkinci işçi yerleşim sıralamasına göre işçilik birim maliyeti;

Tablo 3.17. İkinci İşçi Yerleşim Sıralamasına Göre İşçilik Birim Maliyeti

Operasyon	Ope. Sür. (dk)	Pers. Num.	Pers. Sayısı (adt)	Brüt Maaş (TL/Aylık)	Σİşçilik Maliyeti (TL/Aylık)	İşçilik Birim Maliyeti (TL/dk)
Testerede Kesme	1	100	1	3.825,00 TL	3.825,00 TL	0,32 TL
Frezede Kareleme	12	301	1	3.625,00 TL	3.625,00 TL	3,63 TL
Yuva Açma	20	306	1	3.943,00 TL	3.943,00 TL	6,57 TL
Levy Kanalı	10	308	1	5.718,00 TL	5.718,00 TL	4,77 TL
Yuva Frezeleme	4	301	1	3.625,00 TL	3.625,00 TL	1,21 TL
Radyüs Frezeleme	10	304	1	4.045,00 TL	4.045,00 TL	3,37 TL
Toplam					24.781,00 TL	19,86 TL

Üçüncü işçi yerleşim sıralamasına göre işçilik birim maliyeti;

Tablo 3.18. Üçüncü İşçi Yerleşim Sıralamasına Göre İşçilik Birim Maliyeti

Operasyon	Ope. Sür. (dk)	Pers. Num.	Pers. Sayısı (adt)	Brüt Maaş (TL/Aylık)	Σİşçilik Maliyeti (TL/Aylık)	İşçilik Birim Maliyeti (TL/dk)
Testerede Kesme	1	100	1	3.825,00 TL	3.825,00 TL	0,32 TL
Frezede Kareleme	12	318	1	5.385,00 TL	5.385,00 TL	5,39 TL
Yuva Açma	20	306	1	3.943,00 TL	3.943,00 TL	6,57 TL
Levy Kanalı	10	308	1	5.718,00 TL	5.718,00 TL	4,77 TL
Yuva Frezeleme	4	301	1	3.625,00 TL	3.625,00 TL	1,21 TL
Radyüs Frezeleme	10	304	1	4.045,00 TL	4.045,00 TL	3,37 TL
Toplam					26.541,00 TL	21,62 TL

Dördüncü işçi yerleşim sıralamasına göre işçilik birim maliyeti;

Tablo 3.19. Dördüncü İşçi Yerleşim Sıralamasına Göre İşçilik Birim Maliyeti

Operasyon	Ope. Sür. (dk)	Pers. Num.	Pers. Sayısı (adt)	Brüt Maaş (TL/Aylık)	Σİşçilik Maliyeti (TL/Aylık)	İşçilik Birim Maliyeti (TL/dk)
Testerede Kesme	1	100	1	3.825,00 TL	3.825,00 TL	0,32 TL
Frezede Kareleme	12	300	1	4.435,00 TL	4.435,00 TL	4,44 TL
Yuva Açma	20	306	1	3.943,00 TL	3.943,00 TL	6,57 TL
Levy Kanalı	10	308	1	5.718,00 TL	5.718,00 TL	4,77 TL
Yuva Frezeleme	4	301	1	3.625,00 TL	3.625,00 TL	1,21 TL
Radyüs Frezeleme	10	319	1	3.925,00 TL	3.925,00 TL	3,27 TL
Toplam					25.471,00 TL	20,57 TL

Beşinci işçi yerleşim sıralamasına göre işçilik birim maliyeti;

Tablo 3.20. Beşinci İşçi Yerleşim Sıralamasına Göre İşçilik Birim Maliyeti

Operasyon	Ope. Sür. (dk)	Pers. Num.	Pers. Sayısı (adt)	Brüt Maaş (TL/Aylık)	Σİşçilik Maliyeti (TL/Aylık)	İşçilik Birim Maliyeti (TL/dk)
Testerede Kesme	1	100	1	3.825,00 TL	3.825,00 TL	0,32 TL
Frezede Kareleme	12	301	1	3.625,00 TL	3.625,00 TL	3,63 TL
Yuva Açma	20	306	1	3.943,00 TL	3.943,00 TL	6,57 TL
Levy Kanalı	10	308	1	5.718,00 TL	5.718,00 TL	4,77 TL
Yuva Frezeleme	4	301	1	3.625,00 TL	3.625,00 TL	1,21 TL
Radyüs Frezeleme	10	319	1	3.925,00 TL	3.925,00 TL	3,27 TL
Toplam					24.661,00 TL	19,76 TL

Altıncı işçi yerleşim sıralamasına göre işçilik birim maliyeti;

Tablo 3.21. Altıncı İşçi Yerleşim Sıralamasına Göre İşçilik Birim Maliyeti

Operasyon	Ope. Sür. (dk)	Pers. Num.	Pers. Sayısı (adt)	Brüt Maaş (TL/Aylık)	Σİşçilik Maliyeti (TL/Aylık)	İşçilik Birim Maliyeti (TL/dk)
Testerede Kesme	1	100	1	3.825,00 TL	3.825,00 TL	0,32 TL
Frezede Kareleme	12	318	1	5.385,00 TL	5.385,00 TL	5,39 TL
Yuva Açma	20	306	1	3.943,00 TL	3.943,00 TL	6,57 TL
Levy Kanalı	10	308	1	5.718,00 TL	5.718,00 TL	4,77 TL
Yuva Frezeleme	4	301	1	3.625,00 TL	3.625,00 TL	1,21 TL
Radyüs Frezeleme	10	319	1	3.925,00 TL	3.925,00 TL	3,27 TL
Toplam					26.421,00 TL	21,52 TL

3.4.5. Montaj Hattı Kapasite Dengeleme Sonrası Genel Üretim Maliyeti Analizi

Her istasyonda kullanılan makine ve donanımlara ait amortisman, endirekt malzeme, endirekt işçilik, bakım-onarım ve temizlik giderlerden aldıkları paylar saatlik olarak hesaplanır o istasyona ait saatlik giderler bulunur [103].

Makine maliyeti hesaplaması yaparken, iş istasyonlarına kullanılan makinelerin değerleri aşağıdaki gibidir (Tablo 3.22.).

Tablo 3.22. Dengelemede Kullanılacak Makinelerin Maliyeti

Operasyon	Mak. Say. (adt)	1. Makine Değeri (TL)	2. Makine Değeri (TL)	3. Makine Değeri (TL)	4. Makine Değeri (TL)	ΣMakine Maliyeti (TL)
Testerede Kesme	1	20.000,00 TL	-	-	-	20.000,00 TL
Frezede Kareleme	3	80.000,00 TL	70.000,00 TL	10.000,00 TL	-	160.000,00 TL
Yuva Açma	4	200.000,00 TL	300.000,00 TL	250.000,00 TL	190.000,00 TL	940.000,00 TL
Levy Kanalı	2	80.000,00 TL	90.000,00 TL	-	-	170.000,00 TL
Yuva Frezeleme	1	90.000,00 TL	-	-	-	90.000,00 TL
Radyüs Frezeleme	2	200.000,00 TL	180.000,00 TL	-	-	380.000,00 TL
Toplam						1.760.000,00 TL

Makine birim maliyeti hesaplaması yapılırken aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır.

$$\text{Makine Birim Maliyeti (TL)} = \frac{\sum \text{İstasyonda Çalışan Makine Maliyeti}}{\sum \text{İstasyonda Bulunan Makine Sayısı}} \quad (3.16.)$$

Makine maliyeti hesaplaması yaparken, iş istasyonlarına kullanılan makinelerin birim maliyetleri aşağıdaki gibidir (Tablo 3.23.).

Tablo 3.23. Dengelemede Kullanılacak Makinelerin Birim Maliyetleri

Operasyon	Mak. Say. (adt)	1. Makine Değeri (TL)	2. Makine Değeri (TL)	3. Makine Değeri (TL)	4. Makine Değeri (TL)	ΣMakine Maliyeti (TL)	Makine Birim Maliyeti (TL/adt)
Testerede Kesme	1	20.000,00 TL	-	-	-	20.000,00 TL	20.000,00 TL
Frezede Kareleme	3	80.000,00 TL	70.000,00 TL	10.000,00 TL	-	160.000,00 TL	53.333,33 TL
Yuva Açma	4	200.000,00 TL	300.000,00 TL	250.000,00 TL	190.000,00 TL	940.000,00 TL	235.000,00 TL
Levy Kanalı	2	80.000,00 TL	90.000,00 TL	-	-	170.000,00 TL	85.000,00 TL
Yuva Frezeleme	1	90.000,00 TL	-	-	-	90.000,00 TL	90.000,00 TL
Radyüs Frezeleme	2	200.000,00 TL	180.000,00 TL	-	-	380.000,00 TL	190.000,00 TL
Toplam						1.760.000,00 TL	673.333,33 TL

Yıllık amortisman değeri hesaplaması yapılırken aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır.

$$\text{Amortisman Değeri (Yıllık) (TL)} = \frac{\text{Makine Birim Maliyeti (TL)}}{\text{Makinenin Ortalama Kullanım Süresi (Yıl)}} \quad (3.17.)$$

Makinenin ortalama kullanım süresi 10 yıl olarak hesaplama yapılmıştır (Tablo 3.24.)

Tablo 3.24. Amortisman Maliyetleri

Operasyon	Ope. Sür. (dk)	Mak. Say. (adt)	ΣMakine Maliyeti (TL)	Amortisman Maliyeti (TL/Yıllık)
Testerede Kesme	1	1	20.000,00 TL	2.000,00 TL
Frezele Kareleme	12	3	53.333,33 TL	5.333,33 TL
Yuva Açma	20	4	235.000,00 TL	23.500,00 TL
Levy Kanalı	10	2	85.000,00 TL	8.500,00 TL
Yuva Frezeleme	4	1	90.000,00 TL	9.000,00 TL
Radyüs Frezeleme	10	2	190.000,00 TL	19.000,00 TL
Toplam			673.333,33 TL	67.333,33 TL

Dakika başına düşen amortisman maliyeti hesaplaması yapılırken aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır.

$$\text{Amortisman Maliyeti (Dakika) (TL)} = \left(\frac{\frac{\frac{\Sigma \text{Yıllık Amortisman Maliyeti}}{12 \text{ (Ay)}}}{\text{Çalışma Gün Sayısı}}}{\frac{\text{Günlük Çalışma Süresi (Saat)}}{60 \text{ (Dakika)}}} \right) \quad (3.18.)$$

Tablo 3.25. Amortisman Birim Maliyeti

Operasyon	Ope. Sür. (dk)	Mak. Say. (adt)	ΣMakine Maliyeti (TL)	Amortisman Maliyeti (TL/Yıllık)	Amortisman Birim Gideri (TL/dk)
Testerede Kesme	1	1	20.000,00 TL	2.000,00 TL	0,01 TL
Frezele Kareleme	12	3	53.333,33 TL	5.333,33 TL	0,04 TL
Yuva Açma	20	4	235.000,00 TL	23.500,00 TL	0,16 TL
Levy Kanalı	10	2	85.000,00 TL	8.500,00 TL	0,06 TL
Yuva Frezeleme	4	1	90.000,00 TL	9.000,00 TL	0,06 TL
Radyüs Frezeleme	10	2	190.000,00 TL	19.000,00 TL	0,13 TL
Toplam			673.333,33 TL	67.333,33 TL	0,47 TL

Her iş istasyonuna düşen amortisman birim maliyeti hesaplaması yapılırken aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır.

$$\begin{aligned} & \text{Amortisman Birim Maliyeti (TL)} \\ & = \text{Ope. Sür. (dk)} \times \text{Mak. Say. (adt)} \times \text{Amortisman Maliyeti (dk)} \end{aligned} \quad (3.19.)$$

Amortisman maliyeti hesaplaması yapılırken aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır.

$$\text{Amortisman Maliyeti (TL)} = \sum \text{Amortisman Birim Maliyeti} \quad (3.20.)$$

Tablo 3.26. İş İstasyonuna Düşen Birim Amortisman Maliyeti

Operasyon	Ope. Sür. (dk)	Mak. Say. (adt)	ΣMakine Maliyeti (TL)	Amortisman Maliyeti (TL/Yıllık)	Amortisman Birim Gideri (TL/dk)	Amortisman Birim Maliyeti (TL/dk)
Testerede Kesme	1	1	20.000,00 TL	2.000,00 TL	0,01 TL	0,01 TL
Frezele Kareleme	12	3	53.333,33 TL	5.333,33 TL	0,04 TL	1,33 TL
Yuva Açma	20	4	235.000,00 TL	23.500,00 TL	0,16 TL	13,06 TL
Levy Kanalı	10	2	85.000,00 TL	8.500,00 TL	0,06 TL	1,18 TL
Yuva Frezeleme	4	1	90.000,00 TL	9.000,00 TL	0,06 TL	0,25 TL
Radyüs Frezeleme	10	2	190.000,00 TL	19.000,00 TL	0,13 TL	2,64 TL
Toplam			673.333,33 TL	67.333,33 TL	0,47 TL	18,47 TL

$$\text{Elektrik Gideri (dk)} = \frac{\text{Elektrik Gideri Değeri}}{60 \text{ (Dakika)}} \quad (3.21.)$$

Tablo 3.27. İş İstasyonuna Düşen Elektrik Süresi

Operasyon	Ope. Sür. (dk)	Mak. Say. (adt)	Elektrik Gideri Değeri (TL x kW/h)	Elektrik Gideri Değeri (kW/h)	Elektrik Birim Gideri (TL/dk)
Testerede Kesme	1	1	0,38 TL	2,00 TL	0,03 TL
Frezele Kareleme	12	3	0,38 TL	6,00 TL	0,10 TL
Yuva Açma	20	4	0,38 TL	15,00 TL	0,25 TL
Levy Kanalı	10	2	0,38 TL	15,00 TL	0,25 TL
Yuva Frezeleme	4	1	0,38 TL	15,00 TL	0,25 TL
Radyüs Frezeleme	10	2	0,38 TL	15,00 TL	0,25 TL
Toplam				68,00 TL	1,13 TL

Elektrik birim maliyeti hesaplaması yapılırken aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır.

$$\begin{aligned} \text{Elektrik Birim Maliyeti (TL)} & \quad (3.22.) \\ &= \text{Ope. Sür. (dk)} \times \text{Mak. Say. (adt)} \times \text{Elektrik Gid. Değ. (TL)} \\ &\quad \times \text{Elektrik Gid. Değ. (dk)} \end{aligned}$$

Elektrik maliyeti hesaplaması yapılırken aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır.

$$\text{Elektrik Maliyeti (TL)} = \sum \text{Elektrik Birim Maliyeti} \quad (3.23.)$$

Elektrik maliyeti hesaplanırken elektrik gideri ilgili faturadan hesaplanan elektrik gideri (TL x kW/h) 0,38 TL olarak hesaplanmıştır ve birim elektrik gideri hesaplanırken bu tutar dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır.

Tablo 3.28. İş İstasyonuna Düşen Elektrik Birim Maliyeti

Operasyon	Ope. Sür. (dk)	Mak. Say. (adt)	Elektrik Gideri Değeri (TL x kW/h)	Elektrik Gideri Değeri (kW/h)	Elektrik Birim Gideri (TL/dk)	Elektrik Birim Maliyeti (TL/dk)
Testerede Kesme	1	1	0,38 TL	2,00 TL	0,03 TL	0,01 TL
Frezele Kareleme	12	3	0,38 TL	6,00 TL	0,10 TL	1,37 TL
Yuva Açma	20	4	0,38 TL	15,00 TL	0,25 TL	7,60 TL
Levy Kanak	10	2	0,38 TL	15,00 TL	0,25 TL	1,90 TL
Yuva Frezeleme	4	1	0,38 TL	15,00 TL	0,25 TL	0,38 TL
Radyüs Frezeleme	10	2	0,38 TL	15,00 TL	0,25 TL	1,90 TL
Toplam				68,00 TL	1,13 TL	13,16 TL

Dakika başına düşen indirekt giderlerin maliyeti hesaplaması yapılırken aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır. Endirekt giderlere, indirekt malzeme giderleri, indirekt işçilik giderleri ve temizlik giderleri dâhil edilmiştir. Endirekt malzeme ve diğer giderlere örnek olarak bor yağı, soğutucular, kişisel donanımlar gibi, üretime doğrudan dâhil olmayan ancak ürün maliyetini etkileyen malzeme ve diğer giderler düşünülebilir.

$$Endirekt\ Gider\ Maliyeti\ (dk)(TL) = \left(\frac{\frac{\sum Yıllık\ Endirekt\ Gider\ Maliyeti}{12\ (Ay)}}{\frac{Çalışma\ Gün\ Sayısı}{\frac{Günlük\ Çalışma\ Süresi\ (Saat)}{60\ (Dakika)}}} \right) \quad (3.24.)$$

Endirekt giderlerin yıllık maliyeti aşağıdaki listede verilmiştir. (Tablo 3.29.) Dakika başına düşen endirekt giderlerin maliyet hesaplaması yapılırken bu tutarlarla hesaplama yapılmıştır.

Tablo 3.29. Endirekt Gider Birim Maliyeti

Operasyon	Ope. Sür. (dk)	Mak. Say. (adt)	Endirekt Gider Değeri (TL/Yıllık)	Endirekt Gider Birim Gideri (TL/dk)
Testerede Kesme	1	1	1.100,00 TL	0,01 TL
Frezede Kareleme	12	3	1.100,00 TL	0,04 TL
Yuva Açma	20	4	37.240,00 TL	0,16 TL
Levy Kanalı	10	2	1.600,00 TL	0,06 TL
Yuva Frezeleme	4	1	1.600,00 TL	0,06 TL
Radyüs Frezeleme	10	2	1.100,00 TL	0,13 TL
Toplam			43.740,00 TL	0,47 TL

Endirekt giderlerin birim maliyeti hesaplaması yapılırken aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır.

$$\begin{aligned} &Endirekt\ Gider\ Birim\ Maliyeti\ (TL) \\ &= Endirekt\ Malz.\ Maliyeti\ (TL) \times Ope.\ Sür.\ (dk) \times Mak.\ Say.\ (adt) \end{aligned} \quad (3.25.)$$

Endirekt gider maliyeti hesaplaması yapılırken aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır.

$$Endirekt\ Gider\ Maliyeti\ (TL) = \sum Endirekt\ Gider\ Birim\ Maliyeti \quad (3.26.)$$

Tablo 3.30. İş İstasyonuna Düşen Endirekt Gider Birim Maliyeti

Operasyon	Ope. Sür. (dk)	Mak. Say. (adt)	Endirekt Gider Değeri (TL/Yıllık)	Endirekt Gider Birim Gideri (TL/dk)	Endirekt Gider Birim Maliyeti (TL/dk)
Testerede Kesme	1	1	1.100,00 TL	0,01 TL	0,01 TL
Frezele Kareleme	12	3	1.100,00 TL	0,04 TL	1,33 TL
Yuva Açma	20	4	37.240,00 TL	0,16 TL	13,06 TL
Levy Kanalı	10	2	1.600,00 TL	0,06 TL	1,18 TL
Yuva Frezeleme	4	1	1.600,00 TL	0,06 TL	0,25 TL
Radyüs Frezeleme	10	2	1.100,00 TL	0,13 TL	2,64 TL
Toplam			43.740,00 TL	0,47 TL	18,47 TL

$$Bakım - Onarım Maliyeti (dk)(TL) = \left(\frac{\frac{\sum Yıllık Bakım - Onarım Maliyeti}{12 (Ay)}}{\frac{\text{Çalışma Gün Sayısı}}{\frac{\text{Günlük Çalışma Süresi (Saat)}}{60 (Dakika)}}} \right) \quad (3.27.)$$

Bakım-onarım giderinin yıllık maliyeti aşağıdaki listede verilmiştir. (Tablo 3.31.) Dakika başına düşen bakım-onarım maliyeti hesaplaması yapılırken bu tutarlarla hesaplama yapılmıştır.

Tablo 3.31. Bakım-Onarım Birim Maliyeti

Operasyon	Ope. Sür. (dk)	Mak. Say. (adt)	Bakım-Onarım Giderleri (TL/Yıllık)	Bakım-Onarım Birim Gideri (TL/dk)
Testerede Kesme	1	1	600,00 TL	0,00 TL
Frezele Kareleme	12	3	3.000,00 TL	0,02 TL
Yuva Açma	20	4	12.000,00 TL	0,08 TL
Levy Kanalı	10	2	3.600,00 TL	0,03 TL
Yuva Frezeleme	4	1	2.400,00 TL	0,02 TL
Radyüs Frezeleme	10	2	3.600,00 TL	0,03 TL
Toplam			25.200,00 TL	0,18 TL

Bakım-onarım birim maliyeti hesaplaması yapılırken aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır.

$$\begin{aligned}
& \text{Bakım – Onarım Birim Maliyeti (TL)} \\
& = \text{Bakım – Onarım Maliyeti (dk)} \times \text{Ope.Sür. (dk)} \\
& \times \text{Mak.Say. (adt)}
\end{aligned} \tag{3.28.}$$

Bakım-onarım maliyeti hesaplaması yapılırken aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır.

$$\text{Bakım – Onarım Maliyeti (TL)} = \sum \text{Bakım – Onarım Birim Maliyeti} \tag{3.29.}$$

Tablo 3.32. İş İstasyonuna Düşen Birim Bakım-Onarım Maliyeti

Operasyon	Ope. Sür. (dk)	Mak. Say. (adt)	Bakım-Onarım Giderleri (TL/Yıllık)	Bakım-Onarım Birim Gideri (TL/dk)	Bakım-Onarım Birim Maliyeti (TL/dk)
Testerede Kesme	1	1	600,00 TL	0,00 TL	0,00 TL
Frezele Kareleme	12	3	3.000,00 TL	0,02 TL	0,75 TL
Yuva Açma	20	4	12.000,00 TL	0,08 TL	6,67 TL
Levy Kanalı	10	2	3.600,00 TL	0,03 TL	0,50 TL
Yuva Frezeleme	4	1	2.400,00 TL	0,02 TL	0,07 TL
Radyüs Frezeleme	10	2	3.600,00 TL	0,03 TL	0,50 TL
Toplam			25.200,00 TL	0,18 TL	8,49 TL

3.4.6. Montaj Hattı Kapasite Dengeleme Sonrası Genel Birim Maliyeti Analizi

Malzeme birim maliyeti, sabit giderler ve değişken giderlerden oluşmaktadır.

$$\begin{aligned}
& \text{Malzeme Birim Maliyeti (TL)} \\
& = \text{Birim Sabit Maliyeti (TL)} + \text{Birim Değişken Maliyet (TL)}
\end{aligned} \tag{3.30.}$$

Sabit maliyetler, üretim alanında direkt kullanılmayan, ancak ilgili ofis giderlerin üretim birim maliyetini etkilediği satırlardan oluşmaktadır. Üretim alanında yapılacak değişiklikler bu giderleri etkilemez.

Sabit giderlerin hesaplaması yapılırken aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır.

$$\begin{aligned}
& \text{Sabit Giderler (TL)} \\
& = \text{Ofis Giderleri} + \text{Telefon} + \text{Ulaşım} + \text{Kargo} + \text{Kırtasiye} + \text{Kira} \\
& + \text{Demirbaşlar}
\end{aligned}
\tag{3.31.}$$

Sabit ofis giderinin yıllık maliyeti aşağıdaki listede verilmiştir (Tablo 3.33.).

Tablo 3.33. Sabit Ofis Giderleri

Sabit Giderler	Sabit Giderler (TL/aylık)
Ofis Giderleri (Maaşlar)	52.849,00 TL
Telefon	500,00 TL
Ulaşım	1.200,00 TL
Kırtasiye	500,00 TL
Kargo	700,00 TL
Demirbaşlar	2.000,00 TL
Kira	15.000,00 TL
Toplam	72.749,00 TL

Sabit maliyetlerin hesaplaması yapılırken aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır.

$$\text{Sabit Maliyetler (TL)} = \frac{\sum \text{Sabit Giderler}}{\text{Çalışma Gün Sayısı}}
\tag{3.32.}$$

Tablo 3.34. Birim Ofis Maliyetleri

Sabit Giderler	Sabit Giderler (TL/aylık)	Sabit Giderler Birim Maliyeti (TL/gün)
Ofis Giderleri (Maaşlar)	52.849,00 TL	2.113,96 TL
Telefon	500,00 TL	20,00 TL
Ulaşım	1.200,00 TL	48,00 TL
Kırtasiye	500,00 TL	20,00 TL
Kargo	700,00 TL	28,00 TL
Demirbaşlar	2.000,00 TL	80,00 TL
Kira	15.000,00 TL	600,00 TL
Toplam	72.749,00 TL	2.909,96 TL

Sabit maliyetlere ofis giderlerine ek olarak malzeme maliyeti de eklenmektedir. Malzeme maliyeti 10,35 TL ve talaş maliyeti 3 TL olarak verilmiştir. Bu verilere göre toplam malzeme maliyeti hesaplaması yapılırken aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır.

$$\text{Toplam Malzeme Maliyeti (TL)} = \text{Malzeme Maliyeti (TL)} - \text{Talaş Maliyeti (TL)} \quad (3.33.)$$

$$\text{Toplam Malzeme Maliyeti (TL)} = 10,35 - 3 = 7,35 \text{ TL}$$

Bu çalışmada Tablo 3.9.'da verilen 6 farklı işçi yerleşim düzeni kullanılmıştır. İşçilik birim maliyetleri hesaplanması da Tablo 3.16. , Tablo 3.17. , Tablo 3.18. , Tablo 3.19. , Tablo 2.20. ve Tablo 3.21.'de gösterilmiştir.

Aynı şekilde hesaplanan amortisman birim maliyeti Tablo 3.26. , elektrik birim maliyeti Tablo 3.28. , endirekt gider birim maliyeti Tablo 3.30. ve bakım-onarım birim maliyeti Tablo 3.32.'de gösterilmiştir. Özet tablo aşağıdaki gibidir.

Tablo 3.35. Değişken Birim Maliyetler Özet (Malzeme Maliyeti Hariç)

Düzen/Birim Maliyet (TL)	İşçilik Birim Maliyeti (TL)	Amortisman Birim Maliyeti (TL)	Elektrik Birim Maliyeti (TL)	Endirekt Gider Birim Maliyeti (TL)	Bakım-Onarım Birim Maliyeti (TL)	Toplam Değişken (TL/ad)
1. Yerleşim Düzeni	20,67 TL	18,47 TL	13,16 TL	18,47 TL	8,49 TL	79,26 TL
2. Yerleşim Düzeni	19,86 TL	18,47 TL	13,16 TL	18,47 TL	8,49 TL	78,45 TL
3. Yerleşim Düzeni	21,62 TL	18,47 TL	13,16 TL	18,47 TL	8,49 TL	80,21 TL
4. Yerleşim Düzeni	20,57 TL	18,47 TL	13,16 TL	18,47 TL	8,49 TL	79,16 TL
5. Yerleşim Düzeni	19,76 TL	18,47 TL	13,16 TL	18,47 TL	8,49 TL	78,35 TL
6. Yerleşim Düzeni	21,52 TL	18,47 TL	13,16 TL	18,47 TL	8,49 TL	80,11 TL

Birim değişken giderler, üretim alanında direkt malzemeye etki edecek satırlardan oluşmaktadır. Değişken gider hesaplaması yapılırken aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır.

$$\begin{aligned}
& \text{Değişken Giderler (TL)} \\
& = (\text{İşçilik Birim Maliyeti} + \text{Amortisman Birim Maliyeti} \\
& + \text{Elektrik Birim Maliyeti} + \text{Endirekt Malzeme Birim Maliyeti} \\
& + \text{Endirekt İşçilik Birim Maliyeti} \\
& + \text{Bakım ve Onarım Birim Maliyeti} + \text{Temizlik Birim Maliyeti} \\
& + \text{Malzeme Maliyeti}) \times \text{Günlük Üretim Sayısı}
\end{aligned} \quad (3.34.)$$

Tablo 3.36. Değişken Birim Maliyetler Özet

Düzen/Değişken Birim Maliyet (TL)	Günlük Üretim Adedi	ΣDeğişken (TL)	Malzeme Maliyeti (TL)	Değişken Birim Maliyet (TL/adt)	ΣDeğişken Maliyet (TL)
1. Yerleşim Düzeni	96	79,26 TL	7,35 TL	86,61 TL	8.314,77 TL
2. Yerleşim Düzeni	96	78,45 TL	7,35 TL	85,80 TL	8.237,01 TL
3. Yerleşim Düzeni	96	80,21 TL	7,35 TL	87,56 TL	8.405,97 TL
4. Yerleşim Düzeni	96	79,16 TL	7,35 TL	86,51 TL	8.305,17 TL
5. Yerleşim Düzeni	96	78,35 TL	7,35 TL	85,70 TL	8.227,41 TL
6. Yerleşim Düzeni	96	80,11 TL	7,35 TL	87,46 TL	8.396,37 TL

Toplam maliyetlerin hesaplaması yapılırken aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır.

$$\text{Toplam Maliyet (TL)} = \text{Toplam Değişken Maliyet} + \text{Toplam Sabit Maliyet} \quad (3.35.)$$

Tablo 3.37. Toplam Maliyet

Düzen/Birim Maliyet (TL)	Günlük Üretim Adedi	ΣDeğişken Maliyet (TL)	ΣSabit Maliyet (TL)	ΣMaliyet (TL)
1. Yerleşim Düzeni	96	8.314,77 TL	2.909,96 TL	11.224,73 TL
2. Yerleşim Düzeni	96	8.237,01 TL	2.909,96 TL	11.146,97 TL
3. Yerleşim Düzeni	96	8.405,97 TL	2.909,96 TL	11.315,93 TL
4. Yerleşim Düzeni	96	8.305,17 TL	2.909,96 TL	11.215,13 TL
5. Yerleşim Düzeni	96	8.227,41 TL	2.909,96 TL	11.137,37 TL
6. Yerleşim Düzeni	96	8.396,37 TL	2.909,96 TL	11.306,33 TL

Birim maliyetlerin hesaplaması yapılırken aşağıdaki hesaplama adımları kullanılmıştır.

$$\text{Birim Maliyetler (TL)} = \frac{\Sigma \text{Maliyet}}{\text{Günlük Üretim Adedi}} \quad (3.36.)$$

Tablo 3.38. Birim Maliyetler Özet

Düzen/Birim Maliyet (TL)	Günlük Üretim Adedi	Σ Değişken Maliyet (TL)	Σ Sabit Maliyet (TL)	Σ Maliyet (TL)	Birim Maliyet (TL)
1. Yerleşim Düzeni	96	8.314,77 TL	2.909,96 TL	11.224,73 TL	116,92 TL
2. Yerleşim Düzeni	96	8.237,01 TL	2.909,96 TL	11.146,97 TL	116,11 TL
3. Yerleşim Düzeni	96	8.405,97 TL	2.909,96 TL	11.315,93 TL	117,87 TL
4. Yerleşim Düzeni	96	8.305,17 TL	2.909,96 TL	11.215,13 TL	116,82 TL
5. Yerleşim Düzeni	96	8.227,41 TL	2.909,96 TL	11.137,37 TL	116,01 TL
6. Yerleşim Düzeni	96	8.396,37 TL	2.909,96 TL	11.306,33 TL	117,77 TL

3.5. Uygulama Sonucu ve Öneriler

Bu çalışmada, montaj hattı dengeleme yapılmış ve dengeleme sonrası hattaki etkinlik analiz edilmiştir. Hat dengeleme yapılırken, Excel tabanlı bir matematiksel modelleme oluşturulmuş, sonrasında burada kullanılan hesaplama adımları internet ortamında kodlanmış ve hat dengeleme yapılması için <https://verimlilikhesaplama.com/> internet sayfası oluşturulmuştur.

Hat dengeleme öncesi ve dengeleme sonrası analizine bakıldığında;

- Saatlik üretim adedi, 3 adetten 12 adede çıkarak 9 adet (300%) ve buna bağlı olarak günlük üretim adedi 24 adetten 96 adede çıkarak toplamda 72 adet (300%) artmıştır.
- Çevrim süresi (cycle time), 20 dakikadan 5 dakikaya düşerek 15 dakika (75%) azalmıştır.
- Düzgünlük indeksi, 24,73%'ten 14,14%'e düşerek 10,59%'lik (42,82%) azalmıştır.
- Hat etkinliği, 47,50%'den 80%'e çıkarak 32,50%'lik (68,42%) artış göstermiştir.
- Kuramsal etkinlik, 72,23%'ten 94,14%'e çıkarak 21,91%'lik (30,33%) artış göstermiştir.

Tablo 3.39. Değişim Özet

Hesaplamalar	Dengeleme Öncesi	Dengeleme Sonrası	Değişim	Değişim (%)
Maksimum Üretim (adt/saat)	3	12	9	300,00%
Günlük Üretim Adedi	24	96	72	300,00%
Çevrim Süresi (dk)	20	5	-15	-75,00%
Düzensizlik İndeksi (%)	24,73%	14,14%	-10,59%	-42,82%
Hat Etkinliği (%)	47,50%	80,00%	32,50%	68,42%
Kuramsal Etkinlik (%)	72,23%	94,14%	21,91%	30,33%

Hat dengeleme sonrasında istasyonlara farklı kalifikasyonlara sahip işçiler atanarak, 6 kez test yapılmış ve birim maliyet analizi yapılmıştır. Birim maliyet analizi çalışması Excel tabanlı hesaplama sistemi üstüne kurulmuştur. Bu sisteme göre yapılan hesaplama daha önce Tablo 3.38.'de gösterildiği gibi gerçekleşmiştir. Bu durumda 5. Yerleşim düzeni 116,01 TL ile en az maliyeti oluşturmaktadır.

Yapılan maliyet hesaplaması, istasyonlar arasında yürüme mesafesi yok sayılarak yapılmıştır. Bu sebeple, istasyonlar arası taşıma maliyetinin, birim maliyete etkisi üzerinde de kapsamlı bir araştırma yapılarak aynı testlerle yeniden maliyet oluşturulması yapılabilir.

Gelecek çalışmalarda, montaj hattı dengeleme yapan karar vericiler, özellikle çok kriterli karar ortamlarında seçim problemlerinde gri ilişkisel analiz ve/veya electre yöntemi kullanılarak oluşan alternatifi değerlendirip ve kendisi için en uygun yöntemi seçebilir.

KAYNAKÇA

1. Tanyaş, M., Baskak M., (2003). Üretim Planlama ve Kontrol, İrfan Yayıncılık,İstanbul.
2. Kobu, B.,(1979). Üretim Yönetimi, İstanbul Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme İktisadi Enstitüsü Yayınları.
3. Bolat, B. “İş Yeri (Fabrika) Düzenleme Statejileri Ders Notları” <https://slideplayer.biz.tr/slide/3018234/> (23.11.2018)
4. Çetin, C. (2014), “Temel İşletmeciliğe Giriş” <https://www.slideshare.net/imirballi/letmelerde-verimlilikretim-ynetimi> (23.11.2018)
5. Üçüncü, K., “Makine Düzenleme Sistem ve Teknikleri”, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü <http://aves.ktu.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=66&USER=4049> (23.11.2018)
6. www.lean.org.tr (06.08.2018)
7. Eli Whitney Museum and Workshop. <http://www.eliwhitney.org/7/museum/about-eli-whitney/inventor> (24.11.2017)
8. Ford, H., (1922). My Life and My Work, Garden City Publishing, Garden City, New York.
9. Bryton, B., (1954), Balancing of a Continuous Production Line, Northwestern University.
10. Salveson, M.E., (1955). “The Assembly Balancing Problem”, Journal of Industrial Engineering.
11. Jackson, J.R., (1956). “A Computing Procedure for a Line Balancing Problem”, Management Science, Cilt 2, Sayı 3, 261-271, Amerika.
12. Bowman, E.H., (1960). “Assembly-Line Balancing by Linear Programming”, Operations Research, Cilt 8, Sayı 3, 385-389, Massachussets.
13. Helgeson, W.P., Birnie, D.P., (1961). “Assembly Line Balancing Using the Ranked Positional Weight Technique”, Journal of Industrial Engineering, 12, 394-398.

14. Kilbridge, M.D., Wester, L., (1961). "A Heuristic Method of Assembly Line Balancing", *The Journal of Industrial Engineering*, Cilt 12, Sayı 4, 292-298.
15. Kilbridge, M.D., Wester, L., (1961), "The Balance Delay Problem", *Management Science*, Cilt 8, Sayı 1 69-84.
16. Held, M., Karp R.M., (1962). A "Dynamic Programming Approach to Sequencing Problem", *Journal of the Society of Industrial and Applied Mathematics*, Cilt 10, Sayı 1,196-210, Amerika.
17. Held, M., Karp, R.M., Shareshian, R., (1963). "Assembly Line Balancing Dynamic Programming with Precedence Constraints", *Operations Research*, Cilt 11, Sayı 3, 442-459, Amerika.
18. Hoffmann, T.R., (1963), "Assembly Line Balancing with A Precedence Matrix", *Management Science*, Cilt 9, Sayı 4, 551-562, Amerika.
19. Moddie, C.L., Young, H.H., (1964). "A Heuristic Method of Assembly Line Balancing for Assumptions of Constant or Variable Work Element Times", *Journal of Industrial Engineering*, Cilt 16, Sayı 1, Michigan.
20. Mansoor, E.M., Ben-Tuvia, S., (1966). "Optimising Balanced Assembly Lines" *Journal of Industrial Engineering*, Cilt 21, Sayı 2.
21. Arcus, A.L., (1966), "COMSOAL: A Computer Method ForAssembly Lines", *International Journal of Production Research*, Cilt 4, Sayı 4, 259-277, Los Angeles.
22. Thomopoulos, N.T., (1967), "Line Balancing Sequencing for Mixed-Model Assembly", *Management Science*, Cilt 14, Sayı 2, B59-B75, Amerika.
23. Roberts, S.D., Villa, C.D., (1970), "On A Multiproduct Assembly Line Balancing Problem", *AIIE Transactions*, Cilt 2, 361-364, Amerika.
24. Nevins, A.J., (1972). "Assembly Line Balancing Using Best Bud Search", *Management Science*, Cilt 18, Sayı 9, Amerika.
25. Dar-El, M.B., (1973). "MALB-A Heuristic Technique for Balancing Large-Single Model Assembly Lines", *AIIE Transactions*, Cilt 5, Sayı 4, (343-356).

26. Kottas, J.F., Lau, H.S., (1973), "A Cost Oriented Approach to Stochastic Line Balancing", AIIE Transactions, Cilt 5, Sayı 2, 164-171, Amerika.
27. Buxey, G.M., (1974), "Assembly Line Balancing with Multiple Stations", Management Science, Cilt 20, Sayı 6, Amerika.
28. Dar-El, E.M, Cothor, R.F., (1975), "Assembly Line Sequencing for Model Mix, International Journal of Production Research 13 (5), 463-477.
29. Vrat, P., Virani, A., (1976). "A Cost Model for Optimal Mix of Balanced Stochastic Assembly Line and the Modular Assembly Systems for a Customer Oriented Production Systems", International Journal of Production Research, Cilt 14, Sayı 4, 445-463.
30. Dar-El, E.M. Ve Cucuy, S., (1977), "Optimal Mixed-Model Sequencing For Balanced Assembly Lines", Omega, International Journal of Management Science, Cilt 5, Sayı 3 ,463-477, İngiltere.
31. Dar-El, E.M., (1978), "Mixed-Model Assembly Line Sequencing Problems", Omega, International Journal Of Management Science, Cilt 5, Sayı 3, 333-342, İngiltere.
32. Sculli, D., (1979), "Dynamic Aspects of the Line Balancing OMEGA", International Journal of Management Sciences, Cilt 7, Sayı 5,557-561, İngiltere.
33. Kao E.P.C., (1979). "Computational Experience With A Stochastic Assembly Line Balancing Algorithm", Computers and Operations Research, Cilt 6, 79-86, İngiltere.
34. Raouf, A., Tsui, C.L., El-Sayed, E.A., (1980). "A New Heuristic Approach to Assembly Line Balancing", Computers and Industrial Engineering, Cilt 4, 223-234. İngiltere.
35. Shttjb, A., (1984), "The Effect of Incompletion Cost On Line Balancing With Multiple Manning of Work Stations", International Journal of Production Research, Cilt 22, Sayı 2.
36. Driscolla, J., Abdel-Shafi A., (1985), "A Simulation Approach to Evaluating Assembly Line Balancing Solutions", International Journal of Production Research, Cilt 23, Sayı 5, 975-985.

37. Agrawal, P.K., (1985). The Related Activity Concept in Assembly Line Balancing, International Journal of Production Research, Cilt 23, Sayı 2,403-421.
38. Wilson, J. M., (1986), "Formulation of A Problem Involving Assembly Lines With Multiple Manning of Work Stations", International Journal of Production Research, Cilt 24, No, 1,59-63, İngiltere.
39. Baybars, İ., (1986), "An Efficient Hueristic Method for Simple Assembly Line Balancing Problem", International Journal Of Produstion Research, Cilt 24, Sayı 1, 149-166,Pittsburgh.
40. Baybars, İ., (1986), "A Survey of Exact Algorithms for The Simple Assembly Line Balancing Problem", Management Science, Cilt 32, Sayı 8, 909-932, Amerika.
41. Saltzman, M.J.,Baybars, İ., (1987), "A Two-Process Implicit Enumeration Algorithm for the Simple Assembly Line Balancing Problem", European Journal of Operational Research, Cilt 32, 118-129, Pittsburgh.
42. Deckro, R.F., (1989). "Balancing Cycle Time and Workstations", AIEE Transactions, Cilt 21, Sayı 2, 106-111.
43. Bard, J.F., (1989), "Assembly Line Balancing with Parallel Work Stations and Dead Time", International Journal of Production Research, Cilt 27, Sayı 6, 1005-1018.
44. Betts J., Mahmoud K. I., (1989). "A Method For Assembly Line Balancing", Engineering Costs and Produstion Economics, Cilt 18, Hollanda.
45. Mithenburg, J., (1989). Level Schedules For Mixed-Model Assembly Lines In Just-In-Time Production Systems, Management Science, Cilt 35, Sayı 2, 192-207, Amerika.
46. Sumichrast, R.T., Russell, R.S., (1990). "Evaluating Mixed-Model Assembly Line Sequencing Heuristics For Just-In-Time Production Systems", Journal Of Operations Management, Cilt 9, Sayı 3, 371-390.
47. Sarin, S.C., Erel, E., (1990, "Development of Cost Model for the Single-Model Stochastic Assembly Line Balancing Problem", International Journal of Production Research, Cilt 28, Sayı 7, 1305-1316, Türkiye.

48. Shin, D., (1990) "An Efficient Heuristic for Solving Stochastic Assembly Line Balancing Problem", Computers and Industrial Engineering, Cilt 18, Sayı 3, 285-295, İngiltere.
49. Dar-El, E.M., Rubinovitch, M., (1991). "Using Learning Theory in Assembly Lines for New Products", International Journal of Production Economics, Cilt 25, 103-109, İsrail.
50. Carlson, J.G., Yao, A.C., (1992), "Mixed Model Assembly Simulation", International Journal Of Production Economics, Cilt 26, Sayı 1-3, 161-167.
51. Berger, I., Bourjolly, J.M., Laporte G., (1992). "Branch-And-Bound Algorithms For The Multi-Product Assembly Line Balancing Problem", European Journal Of Operational Research, Cilt 58, Sayı 2, 215-222, Almanya.
52. Hong, Y., Seong D., 1993. "The Analysis of An Unreliable Two, Machine Production Line With Random Processing Times", European Journal of Operational Research, Cilt 68, 228-235, Almanya.
53. Decker, M., 1993. Capacity Smoothing And Sequencing For Mixed-Model Lines, International Journal Of Production Economics, 30-31, 31-42.
54. Ding, Y.F. Ve Cheng, L., (1993), "A Simple Sequencing Algorithm For Mixed-Model Assembly Lines In Just-In-Time Production Systems, Operations Research Letters, Cilt 13, Sayı 1, 27-36.
55. Ding, Y.F., Cheng, L., (1993), "An Effective Mixed-Model Assembly Line Sequencing Heuristic For Just-In-Time Production Systems, Journal Of Operations Management, Cilt 11, Sayı 1, 45-50.
56. Zhuqi, X., Shusaku, H., (1994), "A Study On Sequencing Method For The Mixed-Model Assembly Line In Just-In-Time Production Systems", Computers and Industrial Engineering, Cilt 27, Sayı 1-4, 225-228.
57. Xiaobo, Z., Ohno, K., (1994), "A Sequencing Method For The Mixed-Model Assembly Line In Just-In-Time Production Systems", Computers and Industrial Engineering, Cilt 27, Sayı 1-4, 71-74.

58. Bector, F.F., (1995). "A Multiple-Rule Heuristic for Assembly-Line Balancing", Journal Of The Operational Research Society, Cilt 46, Sayı 1, 62-69, Kanada.
59. Klein, R., Scholl, A., (1996). "Maximizing The Production Rate in Simple Assembly Line Balancing", European Journal of Operational Research, Cilt 91, 367-385, Almanya.
60. Klein, R., Scholl, A., (1997). "SALOME: A Bidirectional Branch-and-bound Procedure for Assembly Line Balancing", INFORMS Journal on Computing, Cilt 9, Sayı 4, 319-334, Darmstadt.
61. Uğurdağ, H.F., Rachamadugu, R., Papachristou, C.A., (1997), "Designing Paced Assembly Lines with Fixed Number of Stations", European Journal of Operational Research, Cilt 102, 488-501, Almanya.
62. McMullen, P.R. Ve Frazierb, G.V., (1997), "A Heuristic For Solving Mixed-Model Line Balancing Problems With Stochastic Task Durations And Parallel Stations", International. Journal of Production Economics, Cilt 51, 177-190.
63. Gökçen, H., Erel, E., (1997). "A Goal Programming Approach To Mixed-Model Assembly Line Balancing Problem", International. Journal of Production Economics, Cilt 48, 177-185.
64. Zhang, Y.H., Luh, P.B., Yoneda, K., Kano T., Kyoya T., (2000). "Mixed Model Assembly Line Scheduling Using The Lagrangian Relaxation Technique", AIIE Transactions, Cilt 32, Sayı 2, 125-134, Amerika.
65. Gökçen, H., Erel, E. (1998), "Binary Integer Formulation For Mixed-Model Assembly Line Balancing Problem", Computers and Industrial Engineering, Cilt 34, Sayı 29, 451-461.
66. Urban, T., (1998), "Note: Optimal Balancing Of U-Shaped Assembly Lines", Management Science, Cilt 44, Sayı 5, 738-741, Amerika.
67. Baskak, M, (1998), "Çok Modelli/Ürünlü Montaj Hatlarının Dengelenmesi İçin Yeni Bir Model Ve Çözüm Yöntemi", İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
68. Süer, G., (1998). "Designing Parallel Assembly Lines", Computers and Industrial Engineering, Cilt 35, 467-470, Porto Riko.

69. Klein, R., Scholl, A., (1999), "ULINO: Optimally Balancing U-Shaped JIT Assembly Lines", International Journal of Production Research, Cilt 37, Sayı 4, 721-736, Darmstadt.
70. Johnson, J., (1988), "Optimally Balancing Large Assembly Lines with FABLE", Management Science, Cilt 34, Sayı 2, 240-253, Amerika.
71. Nourie, F.J., Venta, E. ., (1991) "Finding Optimal Line Balances with OptPack", Operations Research Letters, Cilt 10, 165-171.
72. Sarin, S.C., Erel E., Dar-El E.M., (1999). "A Methodology For Solving Single-Model, Stochastic Assembly Line Balancing Problem", Omega, International Journal of Management Science, Cilt 27, İngiltere.
73. Erel, E., Gökçen, H. 1999. "Shortest Route :Formulation Of Mixed Model Assembly Line Balancing Problem", European Journal Of Operational Research, Cilt 116, 194-204, Pittsburgh.
74. Celano, G., Fichera, S., Grasso, V., La Commare, U., Perrone, G., (1999), "An Evulationalary Approach To Multi-Objective Scheduling Of Mixed Model Assembly Lines", Computers and Industrial Engineering, Cilt 37, Sayı 1-2, 69-73.
75. Nakade, K., Ohno, K., (1999), "An Optimal Worker Allocation Problem For A U-Shaped", International Journal of Production Economics, Cilt 60, 653-658.
76. Matanachai, S., Yano, C.A, (2001). "Balancing Mixed-Model Assembly Lines To Reduce Work Overload", AIIE Transactions, Cilt 33, Sayı 1, 29-42, Amerika.
77. Ağpak K., Gökçen H., Saray N., Özel S., (2002). "Stokastik Görev Zamanlı Tek Modelli U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemleri İçin Bir Sezgisel", Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 17, Sayı 4, 115-124, Türkiye.
78. Bukchin, J., Ezey, M., Dar-El, Rubinovitz, J., (2002). "Mixed-Model Assembly Line Design In A Make-To-Order Environment", Computers and Industrial Engineering, Cilt 41, Sayı 4, 405-421.
79. Vilarinho, P.M., Simaria, A.S., (2002), "A Two-Stage Heuristic Method For Balancing Method For Balancing Mixed- Model Assembly Line With

- Parallel Workstations”, International Journal Of Production Research, Cilt 40, 1405-1420.
- 80.** Jin, M., Wu, S.D., (2003). “A New Heuristic Method For Mixed Model Assembly Line Balancing Problem”, Computers and Industrial Engineering, Cilt 41, Sayı 4, 405-421.
 - 81.** Karabatı, S., Sayın, S. (2003). “Assembly Line Balancing In A Mixed-Model Sequencing Environment With Synchronous Transfers”, Computers and Industrial Engineering, Cilt 149, Sayı 2, 417-429.
 - 82.** Fleszar, K., Hindi, K.S., (2003), “An Enumerative Heuristic And Reduction Methods For The Assembly Line Balancing Problem”, European Journal of Operational Research, Cilt 145, Sayı 3, 606-620, Almanyaa.
 - 83.** Lapierre, S.D., Ruiz, A., Soriano, P., (2004), “Balancing Assembly Lines With Tabu Search”, European Journal of Operational Research, Cilt 168, Sayı 3, 826-837, Almanyaa.
 - 84.** Bock, S., Rosenberg, O., Brackel, T.V. (2004), “Controlling Mixed-Model Assembly Lines In Real-Time By Using Distributed Systems”, European Journal Of Operational Research.
 - 85.** Simaria, A.S., Vilaringo, P.M., (2004). “A Genetic Algorithm Based Approach To The Mixed-Model Assembly Line Balancing Problem Of Type II”, Computers and Industrial Engineering.
 - 86.** Ağpak, K., Gökçen, H., (2005), “Assembly Line Balancing: Two Resource Constrained Cases”, International Journal of Production Economics, Cilt 96, 129-140, Gaziantep.
 - 87.** Scholl, A., Becker, C., (2006) “State-of-The-Art Exact and Heuristic Solution Procedures for Simple Assembly Line Balancing”, European Journal of Operational Research, Cilt 168, 666-693, Almanyaa.
 - 88.** Sotskov, Y. N., Dolgui, A., Portmann, M. C., (2006), “Stability Analysis Of An Optimal Balance For An Assembly Line With Fixes Cycle Time”, European Journal Of Operational Research, Cilt 168, 783-797, Almanyaa.

89. Gökçen, H., Ağpak, K., Benzer, R. (2006), “Balancing of Parallel Assembly Lines”, *International Journal of Production Economics*, Cilt 103, No 2, 600-609.
90. Wu, E., Jin, Y., Bao, J., Hu, X., (2008), “A Branch-And-Bound Algorithm For Twosided Assembly Line Balancing”, *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, Cilt 39, 1009-1015.
91. Baykaşoğlu, A., Dereli, T., (2008), “Two-Sided Assembly Line Balancing Using An Ant-Colony-Based Heuristic”, *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, Cilt 36, Sayı 5-6, 582-588.
92. Xiaofeng, H., Wu, E., Ye, J., (2008), “A Station-Oriented Enumerative Algorithm For Two-Sided Assembly Line Balancing”, *European Journal Of Operational Research*, Cilt 186, 435-440.
93. Kalender, Y., Yılmaz, M. M., Türkbey, O., (2008), “Montaj Hattı Dengelem Problemine Bulanık Bir Yaklaşım”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 23, Sayı 1, 129-138.
94. Özcan, U., Toklu, B., (2009), “Multiple-Criteria Decision-Making In Two-Sided Assembly Line Balancing: A Goal Programming And A Fuzzy Goal Programming Models”, *Computers & Operations Research*, Cilt 36, 1955-1965.
95. Özcan, U., Toklu, B., (2009), “A Tabu Search Algorithm For Two-Sided Assembly Line Balancing”, *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, Cilt 43, 822-829.
96. Çerçioğlu, H., Özcan, U, Gökçen, H, Toklu, B. (2009), “Paralel Montaj Hattı Dengeleme Problemleri İçin Bir Tavlama Benzetimi Yaklaşımı”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 24, Sayı 2, 331-341.
97. Özcan, U., (2010), “Balancing Stochastic Two-Sided Assembly Lines: A Chanceconstrained, Piecewise-Linear, Mixed Integer Program And A Simulated Annealing Algorithm”, *European Journal Of Operational Research*, Cilt 205, 81- 97.

98. Taha, R., El-Kharbotly, A. K., Sadek, Y., M., Afia, N., H., (2011), A Genetic Algorithm For Solving Two-Sided Assembly Line Balancing Problems, Ain Shams Engineering Journal, Cilt 2, 227-240.
99. Chutima, P., Chimklai, P., (2012), "Multi-Objective Two-Sided Mixed-Model Assembly Line Balancing Using Particle Swarm Optimisation With Negative Knowledge", Computers and Industrial Engineering, Cilt 62, 39-55.
100. Kalaycı, C. B., (2012), "Algorithms for Sequence-Dependent Disassembly Line Balancing Problem", Northeastern University, Amerika.
101. Sahu, P., (2012), "A Simulation Study of Kanban Levels for Assembly Lines and Systems", Arizona State University, Amerika.
102. Saavedra, J. A., (2012), "Identification of Rework Station Location to Enhance Reworkability Using Design for Disassembly", The University of Texas at El Paso, Amerika.
103. Cziha, A., (2012), "Productivity Improvement for the Fully Automated M1218 Gear Assembly System", University of Louisville, Amerika.
104. Güngör, F., Akkaya, M., (2012), "Seri Üretim Hattında, Kapasite Dengeleme ve Verimlilik Artışının Birim Maliyete Etkisi ve Bir Uygulama", UIK'11, 11. Ulusal İşletmecilik Kongresi, Konya Selçuk Üniversitesi, Konya, 10-11 Mayıs 2012 pp:999-1004.
105. Güden, H., Meral, S., (2013), "Düzeltilmeli Tavlama Benzetimi İle Birinci Tipte Basit Montaj Hattı Dengeleme: Bir Gerçek Hayat Uygulaması", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 28, Sayı 4, 897-908.
106. Mete, S., Ağpak, K. (2013), "Çok Amaçlı Genelleştirilmiş Kaynak Kısıtlı Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme Problemi ve Hesaplama Analizi", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 28, Sayı 3, 567-576.
107. Baykasoğlu, A., Demirkol, Ş. (2014), "Ergonomik Montaj Hattı Dengeleme", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 29, Sayı 4, 758-792.

108. Eryürük, S. E., Kalaoğlu, F., Baskak, M., (2014), “Etek Üretimi Yapan Bir Konfeksiyon İşletmesinde Montaj Hattı Dengeleme Çalışması”, Tekstil ve Mühendis, Cilt 21, Sayı 96, 20-26.
109. Aksoy, S., Yıldız, M. S., Altınova, S. (2014), “Pozisyon Ağırlığı Methodu İle Tek Model U-Tipi Montaj Hattı Dengeleme”, Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt 16, Sayı 2, 83-89.
110. Foroughi, A., Gökçen, H., (2014), “Maliyet Tabanlı Stokastik Montaj Hattı Dengeleme Problemi”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 29, Sayı 3, 469-476.
111. Kayar, M., Akalın, M., (2014), “A Research on the Effect of Method Study on Production Volume and Assembly Line Effect”, Tekstil ve Konfeksiyon, Cilt 24, Sayı 2, 228-239.
112. Karabay, G., (2014), “A Comparative Study on Designing of a Clotjing Assembly Line”, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
113. Güngör, M., Ağaç, S., (2014), “Resource-Constrained Mixed Model Assembly Line Balancing In An Apparel Company”, Tekstik ve Konfeksiyon, Cilt 24, Sayı 4, 405-412.
114. Akın, N. G., (2015), “Kanepe Montaj Hattının Dengelenmesi ve Benzetim Yöntemi ile Sınanması”, Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt 5, Sayı 1, 95-120.
115. Pearce, B. W., (2015), “A Study on General Assembly Line Balancing Modeling Methods and Techniques”, Clemson Üniversitesi, Amerika.
116. Dhulia, J., (2015), “A Systems Approach for Selection Between Manual and Automated Work Zones Within Assembly Lines”, Clemson University, Amerika.
117. Martinez-Contreras, U., (2015), “Metaheuristic Approach to Solving U-Shaped Assembly Line Balancing Problems Using a Rule-Base Coded Genetic Algorithm”, Colorado State University, Amerika.
118. Diri, S., Mete, S., Çil, Z. A., Ağpak, (2015), “Stokastik Sıra-Bağımlı Hazırlık Zamanlı Montaj Hattı Dengeleme Problemi”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi, Vilt 21, Sayı 4, 152-157.

119. Karabulut, H., Erginel, N., (2015), “Karma Modelli Montaj Hatlarında Üretim Çizelgeleme ve Sıralama Problemlerinde Üretim Düzgünleştirme İçin Bir Yaklaşım Önerisi”, Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi A-Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik, Cilt 16, Sayı 1, 1-14.
120. Mroue, H., (2016), “Optimization of the Design of the Flexible Manufacturing System”, Ecole de Technologie Superieure, Kanada.
121. Li, Y., (2016), “Assembly Line Rebalancing With Non-Constant Task Time Attribute”, Rutgers The State University of New Jersey.
122. Alağuş, H. M., Pınarbaşı, M., Yüzükırmızı, M., Toklu, B., (2016), “Karma Modelli Tip-2 Montaj Hattı Dengeleme Problemi İçin Bir Kısıt Programlama Modeli”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 22, Sayı 4, 340-348.
123. Doğan, A., Sakallı, Ü.S., (2016), “Bulanık İşlem Zamanlı Geleneksel Montaj Hattı Dengeleme Problemi İçin Yeni Bir Yaklaşım: Savunma Sanayii Uygulaması”, Kırıkkale Üniversitesi Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, Cilt 8, Sayı 1, 31-50.
124. Seleim, A., (2016), “Modeling and Performance Analysis of Manufacturing Systems Using Max-Plus Algebra”, University of Windsor, Kanada.
125. Altunay, H., Özmütlu, H.C., Özmütlu, S., (2017), “Paralel Görev Atamalı Montaj Hattı Dengeleme Problemi İçin Yeni Bir Matematiksel Model Önerisi”, Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, Cilt 18, Sayı 1, 15-33.
126. Kutlak, H., Düzdar, İ., Uygur, İ., (2017), “Otomotiv Sektöründe Çok Modelli Bir Montaj Hattının Mevcut Durum Analizi”, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, Cilt 6, Sayı 1, 23-32.
127. Arıkan, M., (2017), “İş Yüğü Dengelemeli İkinci Tip Basit Montaj Hattı Dengeleme Problemi İçin Bir Tabu Arama Algoritması”, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, Cilt 32, No 4, 1169-1179.

128. Akpınar, Ş., (2017), “Large Neighbourhood Search Algorithm For Type-II Assembly Line Balancing Problem”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 23, Sayı 4, 444-450.
129. Alkan, E., Ilgın, M. A., (2018), “Bir Elektronik Firmasının Montaj Hatlarının Ergonomik Analizi”, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 7, Sayı 1, 149-158.
130. Atahan, A., Kapuağası, M., Koç, Ü.N., Gençosman B., İnkaya, T., (2018), “Bir Otomasyon Teknolojileri Üreticisinde Standart Zaman Hesaplama ve Montaj Hattı Dengeleme Yazılımı Geliştirilmesi”, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 23, Sayı 1, 263-284.
131. Özçelik, F., (2018), “Basit Düz ve U-Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemleri İçin Diferansiyel Evrim Algoritması”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 24, Sayı 1, 444-450.
132. Küçükkoç, İ., (2018), “A Nondominated Sorting Ant Colony Optimization Algorithm For Complex Assembly Line Balancing Problem Incorporating Incompatible Task Sets”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 24, Sayı 1, 141-152.

ÖZGEÇMİŞ

26.03.1990 tarihinde İzmir'in Konak ilçesinde doğmuştur. 2008 Yılında Hasan Şadoğlu Süper Lisesi'nden, 2013 yılında İstanbul Aydın Üniversitesi Endüstri Mühendisliği (İngilizce) Bölümü'nden mezun olmuştur. 2014 senesinde Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği (Türkçe) Ana Bilim Dalı Makine Mühendisliği Programı'na kabul edilmiştir.

Lisans hayatı boyunca stajlarını Tübitak MAM Malzeme Enstitüsü'nde, Obaşak Gıda Endüstri Ltd. Şti.'de ve Marmaray'da yapmıştır. Lisans bitirme tezini 2013 yılında Tübitak tarafından düzenlenen "Üniversiteler Arası Girişimcilik ve Yenilikçilik Yarışması"nda desteklenecek ilk 50 proje arasında yer almıştır.

04.2014-05.2015 döneminde APS Tekstil ve Ticaret A.Ş.'de, 05.2015-12.2017 döneminde Unmaş Unlu Mamuller San. Tic. A.Ş.'de Endüstri Mühendisi olarak görev almıştır. 01.2018 yılından bu yana da aktif olarak Tübitak BİLGEM'de çalışmakta, görevime Bilişim Teknolojileri Enstitüsü Kalite ve Süreç Yönetimi Bölümü'nde Endüstri Mühendisi olarak devam etmektedir.

Aktif olarak SAP (WM Modülü, CO Modülü, PP Modülü, MM Modülü, PA Modülü) Microsoft Office (Word, Excel, Powerpoint, Access), UniGraphics Nx3, UniGraphics Nx5, AutoCAD, SolidWorks, Coreldraw, 3DMax, Adobe Photoshop programlarını kullanmakta, JavaScript, CSS, SQLve HTML programlama dillerini de başlangıç düzeyinde bilmektedir.