T.C.
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

ÇİFT TARAFLI MONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMLERİNİN GENETİK ALGORİTMA YAKLAŞIMIYLA OPTİMİZASYONU

Yüksek Lisans Tezi

Erdinç KOÇ

Ankara-2012

T.C.
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

ÇİFT TARAFLI MONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMLERİNİN GENETİK ALGORİTMA YAKLAŞIMIYLA OPTİMİZASYONU

Yüksek Lisans Tezi

Erdinç KOÇ

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Dilber ULAŞ

Ankara-2012

TEZ ONAY SAYFASI

T.C.
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

ÇİFT TARAFLI MONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMLERİNİN GENETİK ALGORİTMA YAKLAŞIMIYLA OPTİMİZASYONU

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Dilber ULAŞ

Tez Jürisi Üyeleri

Adı ve Soyadı	İmzası
Doç.Dr. Murat Barakcı	
Doç.Dr. Dilber Ulaş	
Yrd.Doç.Dr. Hatice Çalışkan	
.....	.....
.....	.....
.....	.....

Tez Sınavı Tarihi: 23/05/2012

TÜRKİYE CUMHURİYETİ

ANKARA ÜNİVERSİTESİ

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDURLUGUNE

Bu belge ile, tezdeki bütün bilgilerin akademik kurallara ve etik davranış ilkelerine uygun olarak toplanıp sunulduğunu beyan ederim. Bu kural ve ilkelerin gereği olarak, çalışmada bana ait olmayan tüm veri, düşünce ve sonuçları andığımı ve kaynağını gösterdiğimi ayrıca beyan ederim.23/05/2012



Erdinç KOÇ

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca değerli yardımlarını ve zamanını benden esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Hatice ÇALIPINAR'a teşekkür ederim. Bu süreç içerisinde desteklerini hep hissettiğim Doç. Dr. Dilber ULAŞ'a, aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim. Çok değerli paylaşımları için Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN'e, Bilg. Müh. Bülent SİYAH'a ve Temsa Global A.Ş. Üretim Direktörü İbrahim ESERCE'ye katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR ..... **İ**
İÇİNDEKİLER ..... **İİ**
SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **Vİ**
TABLOLAR LİSTESİ ..... **Vİİİ**
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **İX**
GİRİŞ **1**
1. MONTAJ HATTI DENGELEME **4**
1.1. Üretim 4
1.1.1. Üretim Sistemleri 5
1.1.1.1. Siparişe Göre Üretim 6
1.1.1.2. Parti Üretimi 6
1.1.1.3. Proje Üretimi 7
1.1.1.4. Seri Üretim 8
1.2. Montaj Kavramının Tanımı 9
1.2.1. Montaj Hattı 10
1.2.2. Montaj Hattının Tarihsel Gelişimi 11
1.2.3. Montaj Hatlarının Sınıflandırılması 12
1.2.3.1. Model Sayısına Göre Montaj Hatları 13
1.2.3.2. Hattın Kontrol Yapısına Göre Montaj Hatları 15
1.2.3.3. Kurulum Sıklığına Göre Hatlar 16
1.2.3.4. Otomasyon Seviyesine Göre Hatlar 17
1.2.3.5. Fiziksel Özelliklerine Göre Hatlar 18
1.3. Montaj Hattı Dengeleme Problemi 20
1.3.1. Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinde Kullanılan Temel Kavramlar 22
1.3.2. Montaj Hattı Dengelemenin Amaçları 28
1.3.3. Montaj Hattı Dengelemeyi Etkileyen Temel Etmenler ve Kısıtlar 30
1.3.4. Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinin Sınıflandırılması 33
1.3.4.1. Amaç Sayısına Göre MHDP 33

1.3.4.2. İşlem Sürelerine Göre MHDP 34
1.3.4.3. Ürün / Model Sayısına Göre MHDP 35
1.3.4.4. Basit ve Genel MHDP 35
2. ÇİFT TARAFLI MONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMİ 38
2.1. Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme Probleminin Tanımı 39
2.2. Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme Probleminin Kısıtları 40
2.3. Çift Taraflı Montaj Hatlarının Tek Taraflı Montaj Hatlarına Göre Avantajları ve Dezavantajları 41
2.4. Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme Problemi İle İlgili Yapılan Çalışmalar 42
2.5. Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme Problemleri için Matematiksel Model49
2.5.1. Tip-1 Problemi için Matematiksel Model 51
2.5.2. Tip 2 Problemi İçin Matematiksel Model 53
3. GENETİK ALGORİTMALAR 56
3.1. Evrimsel Hesaplama 56
3.2. Genetik Algoritmaların Tanımı 58
3.3. Genetik Algoritmaların Ortaya Çıkış Süreci 59
3.4. Genetik Algoritmalarla İlgili Temel Kavramlar 60
3.5. Genetik Algoritmanın Yapısı 62
3.6. Kodlama 64
3.6.1. İkili Kodlama 64
3.6.2. Sekizli (Octal) Kodlama 65
3.6.3. Hekzadesimal Kodlama 65
3.6.4. Permütasyon Kodlama 65
3.7. Genetik Algoritma Adımları 66
3.7.1. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması 67
3.7.2. Uygunlukların Hesaplanması 67
3.7.3. Seçim 68
3.7.3.1. Rulet Tekerleği Seçimi 69
3.7.3.2. Sıralama (Rank) Seçimi 70
3.7.3.3. Turnuva Seçimi 70

3.7.4. Çaprazlama 71
3.7.4.1. Tek Noktalı Çaprazlama 72
3.7.4.2. İki Noktalı Çaprazlama 72
3.7.4.3. N Noktalı Çaprazlama (Uniform Çaprazlama) 73
3.7.5. Mutasyon 74
3.7.5.1. Ters Çevirme Mutasyonu 75
3.7.5.2. Ekleme Mutasyonu 75
3.7.5.3. Yer Değiştirme Mutasyonu 75
3.7.5.4. Karşılıklı Değişim Mutasyonu 76
3.8. Genetik Algoritmaların Avantajları ve Dezavantajları 76
3.9. Genetik Algoritmalarda Parametre Seçimi 77
3.9.1. Popülâsyon Büyüklüğü 78
3.9.2. Çaprazlama Olasılığı 78
3.9.3. Mutasyon Olasılığı 78
3.9.4. Kuşak Aralığı 79
3.9.5. Seçim Stratejisi 79
3.9.6. Fonksiyon Ölçeklemesi 80
3.10. Genetik Algoritmaların Uygulama Alanları 80
4. TEMSA GLOBAL A.Ş. ADANA FABRİKASINDA BİR UYGULAMA 82
4.1. Temsa Global A.Ş. Hakkında Bilgi 82
4.2. Temsa Global A.Ş. Adana Fabrikası Çift Taraflı Montaj Hattı 83
4.3. Tourmalin Modeline ait Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme Probleminin Tanımlanması 85
4.4. Genetik Algoritma Adımlarının Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme Problemine Uygulanması 89
4.4.1. Kromozomların Kodlanması ve Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması 89
4.4.2. Popülasyondaki Her Kromozomun Uygunluk Değerinin Ölçülmesi 91
4.4.3. Yeni Popülasyon Oluşturma Süresi 92
4.4.3.1. Elitizm 92
4.4.3.2. Seçilim ve Çaprazlama 93

4.4.3.3. Mutasyon 94
4.4.3.4. Önceki Toplum ile Yeni Toplumu Değiştir 95
4.4.3.5. Sonlandırma Koşulu Kontrolu 95
4.5. Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme Problemi için Geliştirilen Genetik Algoritma Tabanlı Programın Tanıtılması 95
4.6. Uygulama Sonuçları 98
4.6.1. Birinci Deneme Sonuçları 99
4.6.2. İkinci Deneme Sonuçları 101
4.6.3. Üçüncü Deneme Sonuçları 102
4.6.4. Optimum Sonucun Değerlendirilmesi 105
SONUÇ 109
KAYNAKÇA 112
ÖZET 124
ABSTRACT 125
EK - 1 126

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklama**
$\mathbf{i}$	Operasyon, işlem
$\mathbf{j}$	Çift istasyon
$\mathbf{k}$	Hattın operasyon tarafı
$\mathbf{t_i}$	i. operasyonunun işlem süresi
$\mathbf{n}$	İstasyon sayısı
$\mathbf{n_{enaz}}$	Minimum iş istasyonu sayısı
$\mathbf{C^*}$	Ortalama iş istasyonu süresi
$\mathbf{t_{enb}}$	En büyük istasyon süresi
$\mathbf{ES_i}$	i. istasyonun etken süresi
$\mathbf{Y}$	öncelik matrisindeki "0" değerine sahip hücre sayısı
$\mathbf{Sta_i}$	i. operasyonun işlem gördüğü istasyonu
$\mathbf{P_i}$	i operasyonundan hemen önceki operasyonların kümesi
$\mathbf{P_i^*}$	i operasyonun önceki tüm operasyonların kümesi
$\mathbf{S_i}$	i operasyonundan hemen sonraki operasyonların kümesi
$\mathbf{S_i^*}$	i operasyonundan sonraki tüm operasyonların kümesi
$\mathbf{FT_i}$	i operasyonun atandığı istasyondaki bitiş zamanı
$\mathbf{AD_i}$	Operasyonun taraf ataması için ikili değişken
$\mathbf{L}$	Sol tarafa atanan operasyonların kümesi
$\mathbf{R}$	Sağ tarafa atanan operasyonların kümesi
$\mathbf{E}$	Her iki tarafa atanabilen operasyonların kümesi
$\mathbf{Dir_i}$	i operasyonun yapılması için tercih edilen taraf

C_i	i operasyonu ile birlikte aynı tarafa atanamayacak operasyonların kümesi

Kısaltmalar	**Açıklama**
GA	Genetik Algoritmalar
TZÜ	Tam Zamanında Üretim
NP	Doğrusal Olmayan Problemler
MHDP	Montaj Hattı Dengeleme Problemi
BMHDP	Basit Montaj Hattı Dengeleme Problemi
GMHDP	Genel Montaj Hattı Dengeleme Problemi
ÇMHDP	Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme Problemi
CPMIP	Şans Kısıtlı Doğrusal Karma Tamsayılı Algoritma
SA	Tavlama Benzetimi
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu
ACO	Karınca Kolonisi Optimizasyonu
FFR	İlk Uygunluk Kuralı
C	Çevrim Süresi
T	Toplam Üretim Süresi
D	Denge Kaybı
Dİ	Düzgünlük İndeksi
HE	Hat Etkinliği
KE	Kuramsal Etkinlik
E	Esneklik Oranı

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Montaj Hatlarının Sınıflandırılması 13

Tablo 1.2. 10 Öğeli bir Öncelik Matrisi 27

Tablo 2.1. Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme Problemleri ile İlgili Önceki Çalışmalar 47

Tablo 4.1. Mevcut Hattaki Operasyonların Gerçekleştiği Parça İstasyonlar ve İstasyonların Toplam Süreleri 87

Tablo 4.2. Oluşturulan İş Grupları ve İş gruplarının Toplam Süreleri 88

Tablo 4.3. Mevcut Hat ile Optimal Hat Önerisinin Kayıp Süre Karşılaştırması 107

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Üretim Sistemi Şeması 5

Şekil 1.3. Model Sayısına Göre Montaj Hatları 15

Şekil 1.4. U-tipi Hatların Yapısı 20

Şekil 1.5. 10 Öğeli bir Teknolojik Öncelik Diyagramı 26

Şekil 3.1. Çift Taraflı Montaj Hatlarının Yapısı 39

Şekil 3.3. Sekizli Kodlama 65

Şekil 3.4. Hekzadesimal Kodlama 65

Şekil 3.7. Beş Öğeli Rulet Tekerleği 69

Şekil 3.8. Tek noktalı çaprazlama 72

Şekil 3.9. İki noktalı çaprazlama 73

Şekil 3.10. N noktalı (Uniform) çaprazlama 74

Şekil 3.11. Ters Çevirme Mutasyonu 75

Şekil 3.12. Ekleme Mutasyonu 75

Şekil 4.13. Yer Değiştirme Mutasyonu 76

Şekil 3.14. Karşılıklı Değişim Mutasyonu 76

Şekil 4.1. Temsa Global A.Ş. Üretim Tesisi 83

Şekil 4.2. Temsa Adana Fabrikası Çift Taraflı Montaj Hattı 84

Şekil 4.3. Tourmalin L6-L9 Eş İstasyonlarının Gösterimi 86

Şekil 4.4. Permütasyon Kodlama için Kromozom Örneği 90

Şekil 4.5. ÇMHDP'nin Sol Taraf Operasyonlarının Permütasyon Kodlaması 90

Şekil 4.7. Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme için Geliştilen Programın Arayüz Ekranı 96

Şekil 4.8. Nesil Sayısı ve Popülasyon Büyüklüğünün Değiştirilebilirliğinin Arayüz Ekranında Gösterilmesi.....97

Şekil 4.9. Uygulama Sonuçlarının Grafik Ekranında Gösterilmesi.....98

Şekil 4.10. Uygulama Sonuçlarından Birinci Denemenin Arayüz Ekranı 99

Şekil 4.11. Uygulama Sonuçlarından Birinci Denemenin Uygunluk Değerleri 100

Şekil 4.12. Uygulama Sonuçlarından İkinci Denemenin Arayüz Ekranı 101

Şekil 4.13. Uygulama Sonuçlarından İkinci Denemenin Uygunluk Değerleri 102

Şekil 4.14. Uygulama Sonuçlarından Üçüncü Denemenin Arayüz Ekranı 103

Şekil 4.15. Uygulama Sonuçlarından Üçüncü Denemenin Uygunluk Değerleri 104

Şekil 4.16. Uygulama Sonuçlarından Optimum Çözüm Önerisinin Arayüz Ekranı 105

GİRİŞ

Günümüz rekabet şartları giderek ağırlaşarak işletmelerin hareket alanlarını kısıtlamaktadır. İşletmelerin monopol piyasalarda işlem yapması neredeyse imkansız hale gelmiştir. İşletmeler artık kendi belirlediği değil piyasanın belirlediği fiyat aralığında bir ürün fiyatlaması yapmak ve dinamik pazar yapısına uyum sağlamak zorunda kalmıştır. Söz konusu rekabet ortamı ve dinamik pazar içerisinde işletmelerin rekabet üstünlüğü elde etmelerinde en önemli araçlardan birisi maliyetlerdir. Maliyet avantajının elde edilebilmesi için ise işletme kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması gerekmektedir.

Seri üretim gerçekleştiren işletmeler Adam Smith'in 18. yy'da ortaya koyduğu iş bölümü teorisi sayesinde maliyetlerini ciddi oranda azaltmıştır. Smith'den sonra F. Taylor'un Bilimsel Yönetim Yaklaşımı da işletmelere önemli katkılar sağlamıştır. İş bölümü ve standartlaştırılmış ürün kavramı ise montaj hattı kurulumunun göstergesi olmuştur. Ürünün meydana gelme sürecinde en küçük işlemlerin sıralı bir şekilde bir araya gelerek oluşturduğu iş istasyonlarının hareketli bir hat üzerinde birleşmesiyle montaj hattı oluşmuştur. Ford'un da tespit ettiği üzere montaj hattı işletmelerde işçilik, taşıma gibi birçok maliyeti azaltmıştır.

Montaj hatları işletmenin faaliyet konusuna göre değişik özellik ve şekillerde kullanılmaktadır. İşletmeler ürün değişikliği, otomasyon seviyesinin arttırılması, hattın verimliliğinin yükseltilmesi gibi nedenlerle montaj hattı dengeleme çalışması

yapmaktadır. Değişik özellik ve şekillerdeki montaj hatlarının dengeleme çalışmaları ise montaj hattına özgün bir şekilde uygulanmalıdır.

Bu çalışmada otobüs, kamyon gibi büyük boyutlu ürünlerin üretiminde kullanılan çift taraflı montaj hatları ele alınmıştır. Montaj hattı dengelemenin ana amacı olan iş istasyonları arasındaki yükün dengeli bir şekilde dağıtılması ve istasyonlarda oluşan atıl zamanın en aza indirgenmesi çift taraflı montaj hattı dengeleme problemleri için de geçerlidir. Çift taraflı montaj hattı dengeleme problemleri literatürde NP-zor problemler sınıfında yer almaktadır. Çalışmada çift taraflı montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümü için metasezgisel yaklaşımlardan genetik algoritmalar (GA) kullanılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde üretim kavramı ve üretim sistemleri hakkında kısa bilgi verildikten sonra montaj ve montaj hattı kavramlarına yer verilmiştir. Montaj hattının tarihsel gelişimi ve montaj hattı dengeleme probleminin tanımının da verildiği bölümün son kısmında montaj hattı dengeleme problemlerinin sınıflandırılması hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümde çift taraflı montaj hatları hakkında temel bilgiler verilip çift taraflı montaj hattı dengeleme problemi ve kısıtları tanımlanmıştır. Tip-1 ve Tip-2 problemlerinin çözümü için kullanılan matematiksel modeller ayrıntılı şekilde ifade edildikten sonra çift taraflı montaj hattı dengeleme problemleri hakkındaki literatürde bulunan çalışmalar belirtilmiştir.

Dördüncü bölümde, çift taraflı montaj hattı probleminin çözümü için kullanılan genetik algoritma yaklaşımının tanımı yapılarak tarihçesi hakkında bilgi

verilmiştir. Genetik algoritmaların yapısı ve algoritmanın çözüme ulaşması için en önemli etkenlerden biri olan kodlama ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Genetik Algoritma adımları ve operatörleri tanımlandıktan sonra avantajları ve dezavantajları sıralanmıştır. Genetik Algoritmalarda parametre seçimi belirtilip GA'nın uygulama alanları belirtilmiştir.

Çalışmanın beşinci bölümünde ise ilk olarak çift taraflı montaj hattı probleminin verilerinin alındığı Temsa Global A.Ş. ve Adana Fabrikası hakkında açıklayıcı bilgi verilmiştir. Verilerin değerlendirilmesiyle yapılan optimizasyon çalışması için genetik algoritma adımları sırasıyla ifade edilmiştir. C# da yazılan programın ara yüzü hakkında bilgi verilip optimum sonuç kümesiyle mevcut hat arasındaki fark ifade edilmiştir.

Sonuç kısmında ise çalışma genel olarak değerlendirildikten sonra çift taraflı montaj hattı dengeleme probleminin çözümü için kullanılan genetik algoritmaların ürettiği optimum sonucun mevcut hattın yerine kullanılmasıyla elde edilecek kazanımlar hakkında bilgi verilmiştir.

1. MONTAJ HATTI DENGELEME

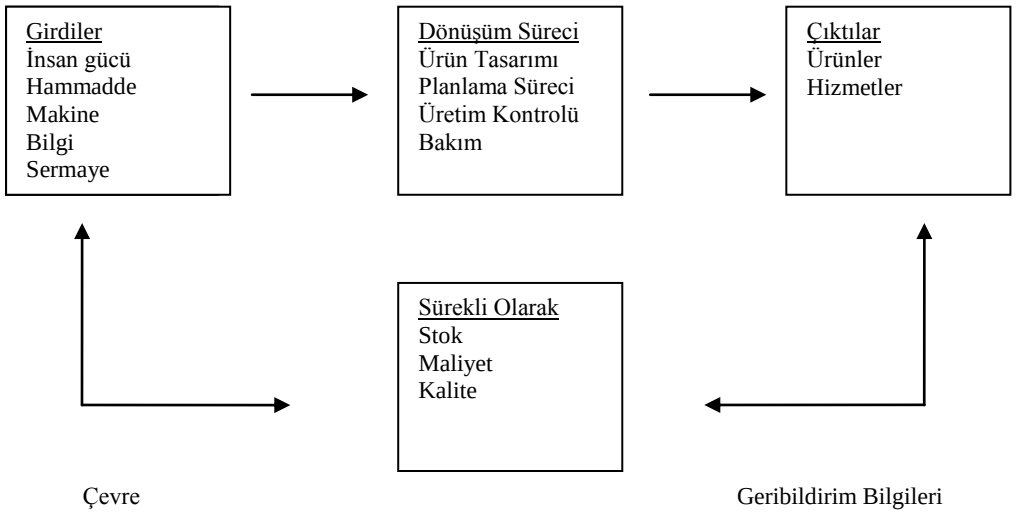
Bu bölüm içerisinde ilk olarak, üretim kavramı ve üretim sistemleri hakkında temel bilgi verilmektedir. Daha sonra seri üretimin en önemli parçası olan montaj kavramı ele alınıp; montaj hattı ve montaj hattı çeşitleri hakkında ayrıntılı bilgi verilmektedir. İşletmeler talep değişikliği, otomasyon seviyesinin artması, ürün değişikliği gibi nedenlerle montaj hattı dengeleme çalışması yapmaktadır. Her montaj hattının spesifik özellikleri olduğundan, montaj hattı dengeleme problemleri montaj hattına özgün bir şekilde uygulanır. Montaj hattı çeşitlerinden sonra, montaj hattı dengeleme probleminin tanımı ve amaçları belirtilmektedir.

1.1. Üretim

Malzeme, iş gücü ve sermayenin birleşmesiyle mal veya hizmet oluşturma sürecine üretim denir (Bellgran ve Safsten, 2010: 43). Üretim, ekonomistlere göre fayda oluşturmak şeklinde tanımlanmaktadır; mühendislere göre ise, hammadde veya yarı mamuller üzerinde değişiklik yaparak kullanılabilir bir mamul meydana getirme prosesidir (Kobu, 2008: 3). İşletme açısından değerlendirilebilecek başka bir tanıma göre ise insan ihtiyaçlarını karşılamak için mal veya hizmet oluşturma işlemidir (Tekin, 2005: 3). Kısaca üretim, mal ve hizmet yaratma sürecidir (Buffa, 1969: 29).

Üretimin gerçekleşmesiyle, mamul veya hizmetler meydana gelmektedir. Üretimin amacına ulaşabilmesi için, belirli kriterler göz önünde bulundurularak

üretim faktörleri bir araya getirilir. Üretim; insan gücü, hammadde, makine, bilgi ve sermaye faktörlerinin bileşimidir.



Kaynak: Kumar ve Suresh, 2008: 3

Şekil 1.1. Üretim Sistemi Şeması

Şekil 1.1.'de görüldüğü üzere girdilerin çıktı haline dönüşüm sürecinde ürün tasarımı, planlama, üretim kontrolü ve bakım faaliyetleri ürünün oluşmasına önemli katkılarda bulunmaktadır. Ayrıca işletme, talebi karşılamak için bünyesinde devamlı hammadde, yarı mamul ve mamul bulundurmalıdır. Üretilen ürünler, her aşamada kalite kontrolden geçmeli ve ürünün maliyet hesaplamaları güncellenmelidir.

1.1.1. Üretim Sistemleri

İşletmelerde yaygın olarak kullanılan üretim sistemlerini üretim miktarına göre; siparişe göre üretim, parti üretimi, proje üretimi ve seri üretim olarak sınıflandırmak mümkündür.

1.1.1.1. Siparişe Göre Üretim

Tüketicinin ürüne ait özel isteklerini belirtebildiği üretim sistemidir. Bu sistemde tüketicinin belirlediği miktarda ve kalitede ürünler üretilmektedir (Üreten, 2006: 19). Proses makineleri, prototip makineler sipariş tipi üretim sistemi ürünlerine örnek olarak gösterilmektedir. Sipariş tipi üretim sistemi, üretimin yapıldığı sürelerin düzeni bakımından üç alt gruba ayrılmaktadır:

a) İstenilen ürün miktarının salt bir defa üretilmesi,

b) İstenilen ürün miktarının talep geldikçe, belirsiz aralıklarla üretilmesi,

c) İstenilen ürün miktarının belirli aralıklarla üretilmesi.

İşletmenin, bir defaya mahsus üreteceği ürünle ilgili bilgileri saklamasına gerek yoktur. Buna karşın, belirsiz veya belirli aralıklarda üretilecek ürünle ilgili bilgilerin saklanması işletme açısından faydalı olmaktadır. Çünkü işletme, ürünün teslimiden sonra üretim planlamasını ve tertibatını yeni sipariş edilmiş ürüne göre değiştireceğinden, eski bilgilere ihtiyaç duymaktadır. Sipariş tipi üretim sisteminde makine kapasitesinden yararlanma oranı düşüktür (Kobu, 2008: 36-37). Sipariş tipi üretim sisteminin temel karakteristik özellikleri ise şöyledir; düşük hacimli yüksek ürün çeşitliliğine sahip olması, genel amaçlı makine ve tesislerin kullanılması, yetenekli operatörlerin kullanılması, büyük stokta malzeme ve parçayla çalışılması, ürün için ayrıntılı üretim planlamanın yapılmasıdır (Kumar ve Suresh, 2008: 4).

1.1.1.2. Parti Üretimi

Parti üretimi, bir ürünün özel bir siparişi veya sürekli bir talebi karşılamak amacı ile, belirli miktarlardan oluşan partiler halinde üretilmesidir. Belirli bir

üründen bir parti üretim gerçekleştikten sonra makine ve tesisler, yeni ürüne göre ayarlanıp başka bir ürünün üretiminde kullanılmaktadır. Parti üretimi de sipariş tipi üretimde olduğu gibi bir defalık, belirsiz ve belirli aralıklarda tekrarlanan olmak üzere üç alt gruba ayrılmaktadır. Ürünlere ait parti hacimleri büyüdükçe ve periyotlar belirli hale geldikçe üretim planlama faaliyetleri daha verimli bir şekilde uygulanmaktadır. Parti üretimi gerçekleştiren işletmelerin, iki temel problemi vardır. Bu temel problemler, en uygun parti büyüklüğünün belirlenmesi ve minimum kapasite kaybına yol açan üretim programlarının hazırlanmasıdır (Kobu, 2008: 37). Parti üretiminin karakteristik özellikleri ise şöyledir; kısa ve seri üretim uygulanması, makine ve tesislerin esnek olması, sipariş tipi üretime göre teslim süresinin daha kısa ve maliyetlerin daha az olmasıdır (Kumar ve Suresh, 2008: 5). Metal işleme atölyeleri parti tipi üretim sistemine örnek olarak gösterilebilir (Üreten, 2006: 19).

1.1.1.3. Proje Üretimi

Proje üretiminde sistem, büyük ölçekli bir ürünün sadece bir kez üretilmesine göre düzenlenmiştir. Üretilen ürünün niteliği gereği işlerin hacmi geniştir, üzerinde çalışılan proje tamamlandığında üretim süreci sona erer ve farklı bir proje geldiğinde üretim tekrar başlar (Üreten, 2006: 20). Genel anlamıyla sipariş tipi üretim sisteminin özelliklerini taşımaktadır. Proje tipi üretim sisteminde üretilen ürünler, niteliği gereği sabit konumdadır. Bu sebeple makine, teçhizat ve iş gücü projenin gerçekleştirileceği yere gitmek zorundadır. Bu üretim sisteminde çok sayıda faaliyet, öncelik kısıtları ve kritik öneme sahip bazı kaynakların azlığı dikkate alınarak gerçekleştirilmek mecburiyetindedir (Martinez vd., 1997: 509). Kısaca bu üretim tipinde faaliyetlerin planlanması, özel metotları gerektirecek derecede karmaşıktır (Üreten, 2006: 20).

Proje tipi üretim sistemine gemi yapımı, uçak projesi üretimi, köprü ve baraj yapımı örnek olarak gösterilmektedir (Tekin, 2005: 38).

1.1.1.4. Seri Üretim

Seri üretim sisteminde makine ve tesisler, sadece belirli bir üründen yüksek miktarlarda üretmek için tasarlanmıştır. Ürünün talep düzeyinin, üretim miktarından fazla olması istenmektedir. Talepte esneklik olmamalıdır. Talep seviyesindeki olası bir düşüş, makine ve teçhizat alımı için katlanılan yüksek maliyetten dolayı, işletmeyi ciddi şekilde etkilemektedir. Seri üretimin en önemli özelliği, aynı üründen büyük miktarlarda üretilmesidir (Sezen, 2011:7).

Seri üretimin karakteristik özelliklerinden biri de standartlaştırılmış ürünlerdir. Standartlaştırılmış ürün üretimiyle; işler bölünebilir ve düzenli bir akış gerçekleştirilebilir. Söz konusu akıştan dolayı, tesis üretilmesi planlanmış ürüne göre tasarlanmaktadır. Akış tipi üretim de denilen bu sistem içerisine, hammadde veya yarı mamul olarak giren girdi, işlem birimlerinden geçtikten sonra ürün olarak sistemden çıkmaktadır (Gökçen, 1994: 6).

Seri üretim; sürekli seri üretim ve kesikli seri üretim olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sürekli seri üretimde, ürünler doğal özelliklerinden dolayı kendiliğinden akmaktadır. Petrol fabrikaları, Şeker fabrikaları, Bira fabrikaları ve Çimento fabrikaları, bu üretim tipindeki tesislere örnek olarak verilmektedir. Kesikli seri üretimde ise girdi, sıralı iş istasyonlarında işlemlerden geçerek ürün haline gelir. Otomotiv endüstrisi bu üretim tipine örnek gösterilmektedir.

Kesikli seri üretim sistemi ise kendi içinde;

- Transfer Hattı
- Montaj hattı

olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Transfer Hattı: Transfer makineleri olarak da bilinen bu hatlar, büyük ve karmaşık makinelerden oluşmaktadır. Hatlar, düz veya devirli olabilir. Ürün veya malzemelerin taşınması işgücü ile değil, otomatik hareket ve transfer yöntemiyle gerçekleşmektedir. Transfer hattı, parçaların eş zamanlı transferleri hariç, üretim hattına çok benzemektedir. Parçaların eş zamanlı hareketlerinden dolayı, bütün istasyonların süreleri birbirine eşit ve deterministiktir (Papadopoulos ve Heavey, 1996: 13).

Montaj Hattı: Akış tipi üretim sistemi içerisinde, konveyör boyunca iş istasyonlarının sıralı bir şekilde yerleştirildiği üretim bantlarına, montaj hattı denilmektedir. Montaj hattında parçalar, konveyör vasıtasıyla ardışık istasyonları takip etmekte ve işlem gördüğü istasyondan bir sonraki istasyona geçmektedir (Rekiek ve Delchambre, 2006: 17).

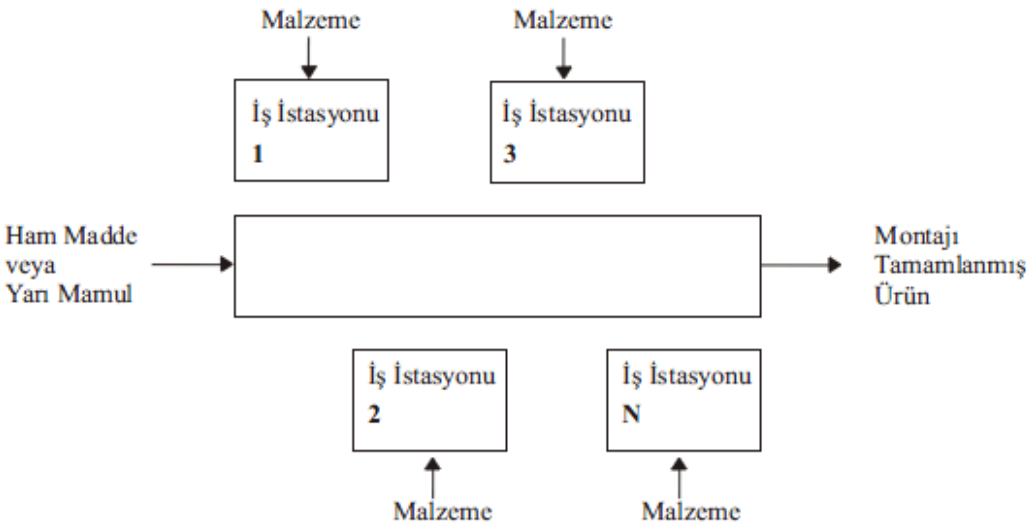
1.2. Montaj Kavramının Tanımı

Montaj; çeşitli parçaların, malzemelerin veya yarı ürünlerin, ürünü oluşturmak amacıyla bir araya gelme süreci olarak tanımlanmaktadır (Bayraktaroğlu, 2007: 8). Başka bir ifadeyle, öncelik ilişkileri göz önüne alınarak, belirli bir düzen içerisinde ürünü elde etmek için, kullanılan parçaların birleştirilmesi işlemidir

(Sinanoğlu ve Börklü, 2001: 1). Kısaca montaj işlemi, tek başına fayda yaratmayan parçaların belirli bir sıra ile birleştirilmesidir.

1.2.1. Montaj Hattı

Montajı gerçekleştirilecek malzeme, konveyör veya insan gücü ile bir sonraki istasyona taşınmaktadır. Bu süreç içerisindeki işlemler, çevrim süresi, öncelik ilişkileri gibi kısıtlar göz önüne alınarak birleştirilmektedir. Bu sayede oluşan istasyonların belirli bir düzen içerisinde sıralandıkları sisteme "montaj hattı" adı verilmektedir (Erkut ve Baskak, 1997: 353). Diğer bir deyişle montaj hattı, birbirinden bağımsız parçaların, ürünü meydana getirmek için oluşturulmuş öncelik ilişkilerine bağlı kalmak kaydıyla, iş istasyonları arasında önceden belirlenmiş bir hızla işlem görmesini sağlamak amacıyla kurulan üretim hattıdır (Yüksel, 2010: 35).



Şekil 1.2. Montaj Hattının Yapısı

Şekil 1.2.'de belirtildiği üzere montaj hattına giren hammadde veya yarı mamul sıralı iş istasyonlarında, işlem görerek hattı tamamlanmış ürün olarak hattı terk etmektedir.

Montaj hattının tesislerde kullanılmasının birçok sebebi vardır. Bu sebeplerden en önemlileri; işletmenin montaj hattı kullanımı sayesinde daha az işçilik ve daha az taşıma maliyetini elde etmesidir.

1.2.2. Montaj Hattının Tarihsel Gelişimi

Adam Smith'in, 1776 yılında yazdığı "Ulusların Zenginliği" adlı kitabı montaj hattının iki temel kuralını belirtmiştir. İlki iş bölümüdür ki Smith'in incelediği küçük bir iğne fabrikasında işler 10 çalışan arasında bölüştürülmüş ve bu sayede günde 48.000 adet iğne üretilmiştir. Eğer iş bölümü gerçekleştirilmemiş olsaydı, bir işçi günde 4800 iğne değil birkaç tane iğne bile üretemezdi (Smith, 2006: 7). İkinci önemli kuralı ise değiştirilebilir standart parçaların kullanılmasıydı. Eli Whitney ve arkadaşlarının 19. yy. 'deki çalışmaları standart parça kullanımına hız kazandırmıştır. Whitney 1797 yılında, Amerikan Hükümetiyle 10.000 tüfek yapımı için anlaşma imzalamıştır. Bu yıllarda tüfekler el yapımı olarak, standart parçalar yapılmadan meydana getiriliyordu. Bu da yapılan her tüfeğin bir öncekinden farklı olduğunu göstermekteydi. Whitney, çalışmalarında değiştirilebilir standart parçalarla bu işin daha kolay gerçekleştirilebileceğine ulaşmıştır. 1801 yılında, Washington'a giderek bu teorisini Başkan Thomas Jefferson'la paylaşmıştır. Bu buluşmadan önce, rastgele standart parçaları seçerek 10 tüfek yapmış ve bu tüfeklerin hepsi de hatasız çalışmıştır. Bu teorinin pratikte gerçekleştirilmesi çok uzun zaman alsa da, bu, üretim metotları açısından devrim niteliğindedir.

Orijinal modern üretim hatları ilk defa Chicago-Illinois ve Cincinnati-Ohio'daki et endüstrisinde gerçekleştirilmiştir. 19. yy'in ikinci çeyreğinden sonra kullanılmaya başlanan manüel konveyörler daha sonra yerini motorlu konveyörlere

bırakmıştır. Bu konveyörler sayesinde et, bir istasyondan diğerine taşıma maliyeti olmadan kolay bir şekilde transfer edilebilmektedir. Aynı zamanda bu sistem içerisinde, işçi önüne gelen etin daha önceden belirlenen parçalarını kesmek haricinde işlem yapmamaktadır. İş bölümünü de barındıran bu sistem montaj hattının temelini oluşturmaktadır (Groover, 2000: 517).

Amerikan otomotiv sanayicisi Henry Ford, et paketleme fabrikalarındaki bu sistemi gözlemledikten sonra 1908 yılında, montaj hattının Ford fabrikasında uygulanması için yatırım yapmaya başlayarak, 728 saatte bitirilen Model T'yi, montaj hattı sayesinde 93 dakikada bitirebilir hale gelmiştir. Bu sayede 1910 yılında, 10-20 bin arasında üretilen T modeli 1916 yılında, yıllık 580.000 adet üretime ulaşmıştır (Swamidass, 2000: 46).

1.2.3. Montaj Hatlarının Sınıflandırılması

Literatürde montaj hattının, çeşitli özelliklerine göre yapılmış sınıflandırma çalışmaları mevcuttur. Bu çalışmaları birleştirerek geniş bir sınıflandırma yapmak montaj hatlarını daha anlaşılır kılmaktadır. Bu amaçla yapılan sınıflandırma Boysen vd.,'nin (2008) çalışması temel alınarak yapılmıştır.

Tablo 1.1. Montaj Hatlarının Sınıflandırılması

Montaj Hatları	**Çeşitleri**		
Model sayısına göre	Tek modelli hatlar	Karışık modelli hatlar	Çok modelli hatlar
Fiziksel özelliklerine göre	U tipi hatlar	Tek taraflı hatlar	Çift taraflı hatlar
Hattın kontrol yapısına göre	Gecikmesiz hatlar		Gecikmeli hatlar
Kurulum sıklığına göre	İlk kez dengeleme		Yeniden dengeleme
Otomasyon seviyesine göre	Manuel hatlar		Otomatik hatlar

Kaynak: Boysen vd., 2008: 512

Tablo 1.1'de görüldüğü üzere montaj hatları, yerleşim şekline, model sayısına, işlem zamanlarına, hattın kontrol yapısına, kurulum sıklığına, otomasyon seviyesine ve fiziksel özelliklerine göre gruplandırılmıştır.

1.2.3.1. Model Sayısına Göre Montaj Hatları

Tek tip ürün veya birden fazla modelde ürün üretilmesine olanak tanıması açısından, montaj hatları sınıflara ayrılmıştır. Bu hatlar tek modelli hatlar, karışık modelli hatlar ve çok modelli hatlardır.

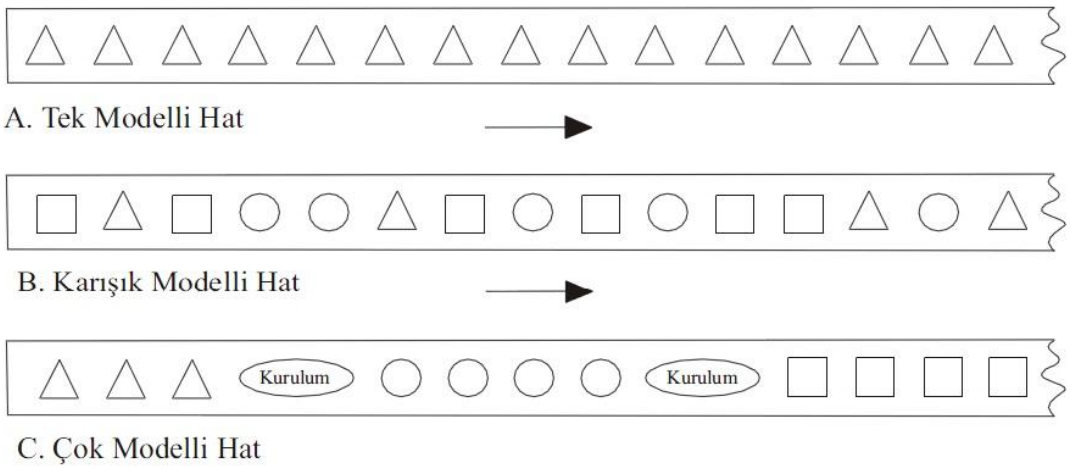
Tek Modelli Hatlar: Tek modelli hatlar, tek tip ürünün yüksek miktarlarda üretildiği hatlardır. Günümüz tüketicilerinin, farklı tüketim alışkanlıklarından dolayı işlevini yitirmiştir. Ürün grupları arasında belirli bir fark olmayan ve modellerin üretimi için yapılan hazırlık aşamalarında, fazla zaman ihtiyacı duymayan üretim hatları da tek modelli montaj hatlarına dâhil edilmektedir. CD üretimi veya meşrubat şişesi üretimi tek modelli hatlara örnek olarak gösterilmektedir (Boysen vd., 2008: 514).

Karışık Modelli Hatlar: Ana ürünün, çeşitli opsiyon sayılabilecek özelliklerle üretilmesine imkan tanıyan hatlardır. Yani karışık modelli hatlar, benzer tipteki birden fazla modelin aynı anda üretilmesine imkân tanımaktadır. Karışık modelli hatların bu özelliği sayesinde, tüketici istekleri hızlıca karşılanıp, işletme fazla stok bulundurma maliyetine katlanmaz (Bukchin vd., 2002: 406). Karışık modelli hatlar, tam zamanında üretim (TZÜ)'in gerekli bir parçası olarak son yıllarda daha fazla önem kazanmıştır. Karışık modelli hatların kullanılmasıyla, işletme belirli ürün stokunu azaltabilmekte ve küçük partilerde üretim yaparak, pazarın dinamik yapısına ayak uydurabilmektedir (Ponnanbalam vd., 2003: 670).

Belirtilen avantajlarına karşın, karışık modelli hatların bazı problemleri vardır. Bu hatlarda gözlenen temel problem, farklı operasyonların yüklenmesiyle istasyonların sabitlenmesi ve bununda optimizasyon çalışmasını zorlaştırmasıdır. Bu nedenle istasyonlarda atıl zaman oluşmakta ve ara stoklar meydana gelmektedir. Örneğin, otomobil üreten karışık modelli bir hatta otomatik veya manüel çalışan sunroofun, otomobile montajı farklı sürelerdedir. Bu yüzden istasyon zamanları, montajı yapılan spesifik ürüne göre değişebilmektedir. Mercedes'in ürettiği C sınıfı otomobiller için 2^{27} farklı spesifikasyon vardır. Bu kadar değişiklik göz önüne alındığı zaman, hattı dengelemek ve öncelik diyagramlarını oluşturmak oldukça zordur. Bu zorluğu aşmak için her modele özgü hazırlanmış öncelik diyagramları birleştirilerek, tüm hattın öncelik diyagramı oluşturulmalı ve optimizasyon çalışması bu diyagrama göre yapılmalıdır (Röder ve Tibken, 2006: 1021).

Çok Modelli Hatlar: Çok modelli hatlarda, farklı tipte ürünler partiler halinde üretilmektedir (Fokkert ve Kok, 1997: 399). Parti hacminin büyüklüğü, hattın

dengeleme faaliyetine yardımcı olmaktadır. Çok modelli hatların dengeleme çalışmalarında, parti öncesi hazırlık zamanının ve hazırlık maliyetlerinin bilinmesi, en uygun parti büyüklüğünün saptanmasına katkı sağlamaktadır. Çok modelli hatlarda partiler büyük ise tek modelli hatlara; küçük ise de karışık modelli hatlara benzetilmektedir.



Kaynak: Becker ve Scholl, 2006: 695

Şekil 1.3. Model Sayısına Göre Montaj Hatları

Şekil 1.3.'de Model Sayısına Göre Montaj Hatlarının yapısı belirtilmiştir. Tek modelli hattan homojen, tek tipte bir ürün üretilirken; karışık modelli hatta aynı modelin farklı özelliklere sahip olan varyasyonları üretilebilmektedir. Çok modelli hatlar ise, parti üretim tipi özelliklerine sahiptir. Bu modelde ürünler partiler arasında kurulum gerçekleştirilerek üretilmektedir.

1.2.3.2. Hattın Kontrol Yapısına Göre Montaj Hatları

Montaj hatları, kontrol yapısına göre gecikmeli ve gecikmesiz hatlar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

Gecikmeli Hatlar: Gecikmeli hatlar adından da anlaşılacağı üzere iş istasyonlarındaki işlemlerin, stokastik bir şekilde yapıldığını ifade etmektedir. Operasyonların bitirilmesi için standart süre belirlenmemiştir. Bu da iş istasyonları arasında beklemelere sebep olmaktadır. İstasyonlar arasındaki beklemelerin önüne geçmek için, tampon kullanılmaktadır. Diğer istasyonlara göre yavaş çalışan istasyondan önce tampon konulur. Bu sayede hattın aksamaması sağlanmaktadır. Fakat tamponun dolması ile beraber, hatta aksama meydana gelir ve tampondan önceki istasyonlarda boş bekleme oluşur. Bir diğer istenmeyen durum ise, istasyon açlığıdır. İstasyon açlığı;bir önceki istasyondan parça gelmemesinden dolayı, bir sonraki istasyonun işleme başlayamama durumudur (Boysen vd., 2008: 517).

Gecikmesiz Hatlar: Gecikmesiz hatlar, iş istasyonlarının aynı sürelere sahip oldukları montaj hatlarıdır. Her iş istasyonundaki operasyon süreleri birbirine eşittir. Bu sayede hattın daha önceden belirlenmiş bir hızda ilerlemesi öngörülür. Ürün hareketli bantlar veya konveyör yardımıyla ilerlerken, işlemcinin hat boyunca hareket etmesi istenmektedir. İşlemcinin hatta giren ürün ile beraber hareket etmesi ve gerekli işlemi gerçekleştirmesi beklenmektedir. Gecikmesiz hatların, insan faktörü göz önüne alınarak değerlendirilmesiyle, gerçek hayata pek de uygun olmadığı görülmektedir. Çünkü işlemcilerin çeşitli nedenlerle operasyonları tamamlayamaması sonucunda, aksaklıklar yaşanmakta ve bu durumda hattın verimsiz çalışmasına sebep olmaktadır (Becker ve Scholl, 2006: 698).

1.2.3.3. Kurulum Sıklığına Göre Hatlar

Kurulum sıklığına göre montaj hatları, ilk kez dengeleme ve yeniden dengeleme olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

İlk Kez Dengeleme: Üretim süreci henüz oluşmamış ve sabitlenmemiştir. Üretilecek ürüne göre, tesis yerleşimi yapılacağından makinelerin, operasyonların ve işlemcilerin atama sorunu bulunmaktadır. Bu sorunu gidermek için, üretilecek ürüne ait öncelik ilişkileri ve diyagramı oluşturulur. Makinelere atanan operasyonların, operasyonlara atanan işlemcilerin, kaynakların ve taşıma maliyetlerinin hepsi göz önünde bulundurularak maliyetleri minimize eden montaj hattı kurulur (Boysen vd., 2008: 520).

Yeniden Dengeleme: Gerçek hayattaki montaj hattı dengeleme problemlerinin çoğunluğunu ilk kez dengeleme problemleri değil, yeniden dengeleme problemleri oluşturmaktadır (Falkenauer, 2005: 363). Üretim programlarındaki yapısal değişiklik veya talep değişiklikleri yeniden dengelemeyi önemli hale getirmektedir. Montaj hattı kurulumu daha önce yapılmış olduğundan, iş istasyonu sayısının azaltılması amacı çok önemli değildir. Ana amaç operasyonların, iş istasyonlarına eşit bir şekilde atanmalarını sağlamaktır (Boysen vd., 2008: 521).

1.2.3.4. Otomasyon Seviyesine Göre Hatlar

Otomasyon seviyesine göre hatlar manüel hatlar ve otomatik hatlar olmak üzere iki alt başlık altında incelenebilir.

Manüel Hatlar: Manüel hatlar, otomasyon seviyesinin düşük olduğu hatlardır. Manüel hatlar iki sebepten dolayı tercih edilmektedir. Bu sebeplerin ilki, hassas parça üreten işletmeler için endüstriyel robot kullanımının dezavantaj olmasıdır. (Abdel-Malek ve Boucher, 1985: 198). İkinci sebep ise, işgücü

maliyetlerinin düşük olduğu ülkelerde işletmenin ucuz işgücünü kullanma isteğidir. Çünkü otomatik hatlar, yüksek makine ve teçhizat maliyetleri gerektirir.

Manüel hatlarda montaj hattı dengeleme çalışması yapılırken, önem verilmesi gereken husus işlemcinin performansının değişeceği düşünülerek, operasyon süresinin stokastik bir şekilde değerlendirilmesi gerekliliğidir. İşlemcinin performansını etkileyen çeşitli faktörler vardır. Fiziki koşullar, motivasyon ve stres gibi etkenler işlemcinin operasyonu gerçekleştirme süresini etkileyen faktörler arasındadır. Ayrıca işlemcinin aynı işi gün içerisinde onlarca hatta yüzlerce tekrarlaması bıkkınlık ve isteksizlik hissi meydana getirir. Bu da manüel hatlar için dezavantaj olmaktadır (Özgörmüş, 2007: 13).

Otomatik Hatlar: Özellikle insan için uygun çalışma ortamının bulunmadığı durumlarda, otomatik hatların kullanımı oldukça gereklidir. Montaj hattının esnek olduğu durumlarda da robot kullanımı sayesinde farklı ürünler üretilebilmektedir. İnsan gücünün yoğun olarak kullanıldığı manüel hatlarda operasyon süreleri stokastik iken, otomatik hatlarda deterministiktir. Operasyon sürelerindeki sapmanın azlığı, montaj hattı dengeleme çalışmaları için büyük bir avantajdır. Operasyonların belirli bir süre içerisinde bitirilmesinden dolayı, hatta gecikme veya boş bekleme meydana gelmemektedir (Boysen vd., 2008: 522).

1.2.3.5. Fiziksel Özelliklerine Göre Hatlar

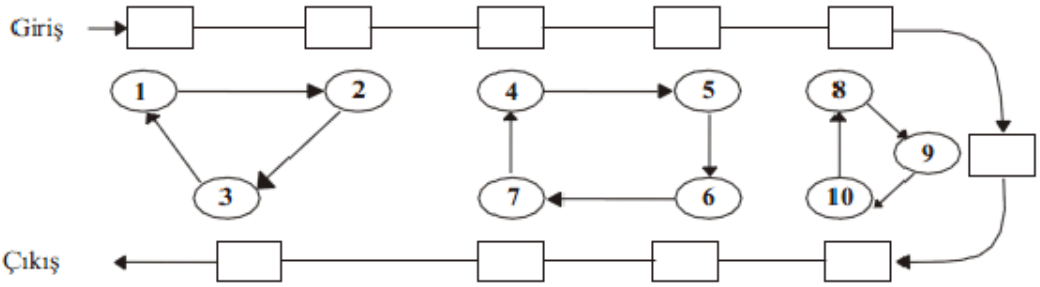
Fiziksel özelliklerine göre veya yerleşim şekline göre montaj hatları düz, u tipi, çift taraflı, dairesel, zig-zaglı, rastsal ve değişik açılı olmak üzere birçok şekilde

sınıflandırılabilir. Bu hatlardan en sık kullanılanlar düz, u tipi ve çift taraflı montaj hatlarıdır.

U tipi Hatlar: U tipi montaj hatları, Miltenburg ve Wijngaard (1994) tarafından yapılan çalışmayla literatüre ilk defa girmiştir. U tipi montaj hatlarının uygulanması ilk defa Toyota fabrikalarında gerçekleşmiştir. Farklı opsiyonel özelliklere sahip aynı türden otomobiller üreten Toyota, tüketicilerin talep değişikliklerini de dikkate alarak düz hatların yetersiz olduğuna karar vermiş ve aşağıdaki avantajları da göz önünde bulundurarak U tipi montaj hattını kullanmaya başlamıştır. U tipi hatların, geleneksel düz hatlara göre bazı avantajları vardır. Bu avantajlar:

1) İşlemcilerin birbirlerine yakınlıklarından dolayı, hat içerisinde iletişim gelişmiştir. Olası bir problemde işlemcilerin birbirine yardım etme olasılığı daha fazladır.
2) İşlemciler hattaki neredeyse bütün operasyonları yapabilecek yetenektedir. U tipi montaj hattının pek çok istasyonunda yer alan bu işlemciler, her gün rotasyona tabidir. Rotasyon sayesinde, işlemciler pek çok istasyon ve operasyon hakkında bilgi sahibidir.
3) Düz hatlarda talepte meydana gelecek bir değişiklik için yapılacak tek çözüm hattın çalışma süresini arttırmaktır. Buna karşın, U tipi hatlarda talepte olası değişiklikleri karşılamak için işlemci sayısı arttırılabilir veya azaltılabilir (Sabuncuoğlu vd., 2009: 288). Bu işlem aynı zamanda hattın yeniden dengelenmesidir.

4) Operasyonları gruplama olasılığı düz hatlardan daha fazla olduğu için, U tipi hatlarda iş istasyonu sayısı kesinlikle düz hatlardan daha azdır (Miltenburg ve Wijingaard, 1994: 1379).



Kaynak: Monden, 1998: 34

Şekil 1.4. U-tipi Hatların Yapısı

Düz Hatlar: Montaj hattı uygulamalarının ilk gerçekleştiği hat şeklidir. Öncelik ilişkileri belirlendikten sonra, hatta giren parça sıralı iş istasyonlarında gördüğü işlemler neticesinde, hattı ürün olarak terk eder. İş akışının hızlı ve kolay bir şekilde ilerlemesi düz hatlar için avantaj iken hattın çok yer kaplaması ise dezavantajdır.

Çift Taraflı Hatlar: Montaj hattının sağ ve sol tarafının aynı anda kullanıldığı hatlardır. Otobüs, kamyon gibi büyük boyutlu ürünlerin üretildiği tesislerde kullanılmaktadır. Çift taraflı montaj hatları hakkında ayrıntılı bilgi bu bölümün son kısmında verilmektedir.

1.3. Montaj Hattı Dengeleme Problemi

Montaj hattı dengeleme problemi (MHDP), ilk olarak Bryton'un (1954), Northwestern Üniversitesinde yapmış olduğu yüksek lisans tezinde ifade edilen bir

kavramdır. Farklı işlem sürelerine sahip operasyonlar arasında öncelik ilişkisi kurmak, her operasyonun en fazla bir iş istasyonuna atanması kısıtı altında, iş istasyonları oluşturmak montaj hattı dengelemenin temel problemleridir (Falkenauer, 2005: 360).

Salveson (1955), yaptığı çalışma ile montaj hattı dengeleme problemine tam sayılı programlama ile çözüm aramıştır. Bu çalışmadan sonra, montaj hattı dengeleme problemine olan ilgi artmış ve NP-zor problemler sınıfında değerlendirilmiştir (Kriengkorakot ve Pianthog, 2007: 134).

Jackson (1956), montaj hattı dengeleme problemine, optimal çözüm arayan geniş ve sayıma dayalı bir algoritma geliştirmiştir. Jackson, operasyonların iş istasyonlarına atanmalarında iki önemli kısıta dikkat etmiştir. Bu kısıtların ilki, herhangi bir istasyona atanan operasyonların toplam süresi, çevrim süresini aşmamalıdır. İkincisi ise, her iş istasyonu kendisine atanan operasyonları, öncelik ilişkisine uyarak gerçekleştirmelidir (Jackson, 1956: 261).

Helgeson ve Kwo, Jackson'un optimal çözüm için kullandığı hesaplama kuralını kabul etmiş ve bu doğrultuda operasyon kısıtlarına bağlı kalarak iş istasyonu sayısını minimize etmiştir. Bowman (1960), montaj hattı dengeleme problemleri için tam sayılı programlamayı önermiştir. Daha önceki çalışmalarla karşılaştırıldığında Bowman'ın çalışmaları pratikten ziyade, akademik değere sahip olan çalışmalar olarak değerlendirilmektedir. Helgeson ve Birnie ise, optimal çözüm için sıralı pozisyon ağırlıklandırma metotunu geliştirmişlerdir (Kilbridge ve Wester, 1962:628). Hoffman (1963) ise, montaj hattı dengeleme problemine öncelik matrisini temel alan sezgisel yöntem geliştirmiştir. Gutjahr ve Nemhauser (1964), montaj hattı dengeleme

problemlerinin çözümünde kısa yol uygulamasını kullanmışlardır. Buxey (1974), geliştirdiği programla konum kısıtını, aynı iş istasyonuna atanması ve atanmaması gereken operasyonları dikkate alarak montaj hattı dengeleme problemine çözüm aramıştır. Johnson (1988), dal-sınır algoritmasından faydalanarak oluşturduğu FABLE metotuyla, büyük hacimli montaj hattı dengeleme problemlerini optimize etmeye çalışmıştır. Boctor (1995), MHDP'nin çözümü için dört öncelik kural temelli sezgisel yaklaşımı benimsemiştir. Üretim endüstrisindeki, Tip-1 problemlerinin çözümü için Lapierre ve Ruiz (2004) MS Access tabanlı program geliştirmiştir. Amen (2006) ise maliyet tabanlı montaj hattı dengeleme için matematiksel model geliştirmiş ve dal-sınır algoritmasıyla probleme çözüm aramıştır. Boysen ve Fliedner (2008) çok amaçlı algoritma ile montaj hattı dengeleme problemlerini çözmeye çalışmıştır. Kılınççı (2011) basit montaj hattı dengeleme Tip-1 probleminin çözümü için petri ağı tabanlı geriye dönük ateşleme sırası algoritmasını kullanmış ve ulaştığı çözümleri matematiksel ve sezgisel yöntemlerle karşılaştırmıştır.

1.3.1. Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinde Kullanılan Temel Kavramlar

İş Öğesi/Operasyon: Montaj sürecinde toplam işin bölünemeyen en küçük birimidir (Rekiek ve Delchambre, 2006: 17). Farklı bir ifadeyle operasyon; operatörler arasında karışıklıklara neden olmadan, paylaştırılması olanaksız minimum iş yüküdür.

İş İstasyonu: Hat boyunca yerleştirilmiş, operasyonların gerçekleştirildiği alandır. İş istasyonu insan/robot işlemciler ve makine/teçhizat içermektedir (Baybars, 1986: 909). İş istasyonları açık ve kapalı olmak üzere iki gruba ayrılır. Kapalı

istasyonlarda, işlemciler çalıştığı iş istasyonu sınırlarını ihlal edemezler. Açık istasyonlarda ise işlemciler, operasyonları belirli sınırlara kadar bitirebilme esnekliğine sahiptir (Erel ve Sarin, 1998: 415).

Toplam İş Süresi: Ürünün tamamlanması için gerekli olan süre veya iş istasyonlarının süreleri toplamıdır (Baskak, 1991: 29).

$$TS = \sum_{i=1}^{N} t_i \tag{1.1}$$

Formülde, TS toplam iş süresi, Noperasyon sayısı, t_i ise $i.$ operasyonun işlem süresidir.

Çevrim Süresi: Ürünün herhangi bir iş istasyonunda, işlem görebileceği en uzun süre veya operatörün istasyona tanımlı tüm iş öğelerini gerçekleştirmesi için, gerekli süre olarak tanımlanabilir (Keskintürk ve Küçük, 2006: 53). Farklı bir ifadeyle montaj hattında bir iş istasyonunun, içerisindeki iş öğelerini gerçekleştirmek için sahip olduğu maksimum süreye çevrim süresi denir. Çevrim süresi, en uzun süreye sahip iş öğesinden küçük olamaz. İş öğelerinin tamamlanmasına rağmen, iş istasyonu için belirlenen çevrim süresi dolmamış olabilir. Çevrim süresinin iş istasyonunda etken bir şekilde kullanılıp kullanılmadığını ölçmek için; süre üretken iş süresi, üretken olmayan iş süresi ve atıl süre olmak üzere üçe ayrılmaktadır (Erkut ve Baskak, 1997: 356).

$$C = \frac{T}{N} \tag{1.2}$$

Burada, C çevrim süresi, T toplam üretim süresi ve N de üretilmek istenen ürün sayısıdır.

Gerekli En Az İş İstasyonu Sayısı

Gerekli en az iş istasyonu sayısı, çevrim süresi kısıtı altında ürünün en az kaç iş istasyonda işlem görerek tamamlanacağını bildirmektedir (Baskak, 1991: 30).

$$n_{enaz} = \frac{\sum_i^N t_i}{C} \tag{1.3}$$

C çevrim süresi, t_i ise i. operasyonun işlem süresi, n_{enaz} minimum iş istasyonu sayısını ifade etmektedir.

Ortalama İş İstasyonu Süresi

Ortalama iş istasyonu süresi, ürünün hat boyunca işlem gördüğü, iş istasyonlarının ortalama işlem süresidir (Erel ve Sarin, 1998: 415).

$$C^* = \frac{\sum_i^N t_i}{n} \tag{1.4}$$

C^* ortalama iş istasyonu süresini, n iş istasyonu sayısını, t_i ise i. operasyonun işlem süresi ifade etmektedir. Bu denklem ayrıca $n \geq n_{enaz}$; $C \geq C^*$ kısıtları altındadır.

Denge Kaybı

Denge kaybı, işlemcilerin veya operasyonların iş istasyonlarına düzgün bir şekilde dağıtılmaması sonucu, oluşan atıl zamandır (Kilbridge ve Wester, 1961: 70). İş

istasyonlarına atanan operasyonların ve operatörlerin ne kadar dengeli dağıtıldığını gösteren bir ölçektir (Baskak, 1991: 30).

$$D\ (\%) = \frac{C - C^*}{C} * 100 = \frac{n * C - \sum_{i=1}^{N} t_i}{n * C} \quad (1.5)$$

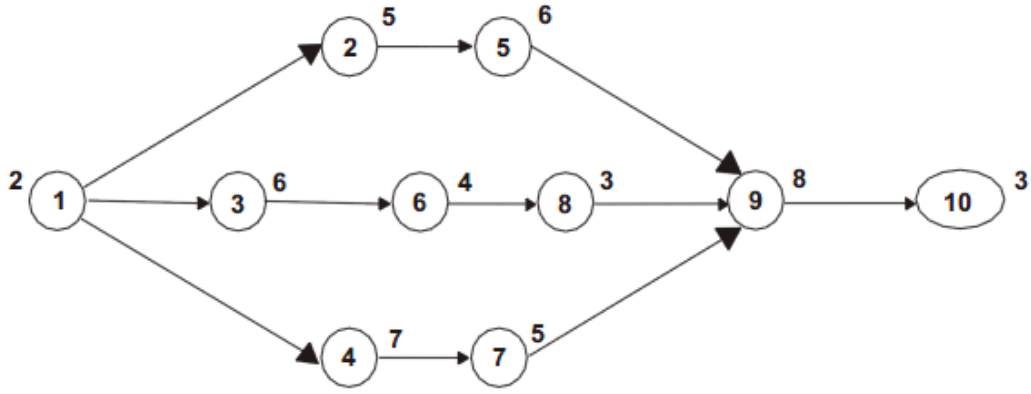
C çevrim süresini, C^* ortalama iş istasyonu süresini, n istasyon sayısını , t_i ise i. operasyonun işlem süresi ifade etmektedir.

Denge kaybı; her istasyonda, birim üretim için belirlenen toplam süreyle gerekli süre arasındaki farkın, toplam zamana oranıdır (Gökçen, 1994: 15).

Burada dikkat edilmesi gereken nokta, herhangi bir iş istasyonunun süresi çevrim süresinden kısa ise, çevrim süresi yerine, en uzun süreye sahip iş istasyonu süresi alınmalıdır. Çünkü en uzun süre ile çevrim süresi arasındaki süre hiçbir istasyon tarafından kullanılmayacaktır (Erkut ve Baskak, 1997: 358).

Teknolojik Öncelik Diyagramı

Montaj tanımında belirtildiği üzere, işlerin sıralı bir sistem içerisinde birbirini izlemesi gerekmektedir. Bu özellikler, bütün olarak öncelik ilişkileri adı altında toplanmaktadır. Teknolojik öncelik diyagramında, söz konusu öncelik ilişkileri, operasyonların işlem sırasının grafiksel gösterimi ile ifade edilmektedir. Diyagram oluşturulurken, iş öğeleri çemberlerin içine; operasyon süreleri ise çemberlerin dışına yerleştirilmektedir. İş öğeleri arasındaki öncelik ilişkilerini göstermek için ise, ilk iş öğesinden bir sonraki iş öğesine ok çizilir.



Şekil 1.5. 10 Öğeli bir Teknolojik Öncelik Diyagramı

Şekil 1.5.'te belirtildiği üzere, ilk operasyonla başlayan diyagram, operasyonlar arasındaki ilişkileri net bir şekilde ifade ederek, problemin çözümüne önemli katkı sağlamaktadır.

Düzgünlük İndeksi: Düzgünlük indeksi, montaj hattı üzerinde iş öğelerinin istasyonlara düzgün bir şekilde atanıp atanmadığını kontrol eder. İndeksin küçük olması, hattın denge noktasına yaklaştığını göstermektedir (Baskak, 1991: 33).

$$D\dot{I}\ (\%) = \frac{\sqrt{\sum(t_{enb} - t_i)^2}}{n * C} * 100 \qquad (1.6)$$

Düzgünlük indeksi formülünde, $D\dot{I}$ düzgünlük indeksini, t_{enb} en büyük istasyon süresini, n istasyon sayısını, C çevrim süresini, t_i ise i. iş istasyonu süresini göstermektedir.

Öncelik Matrisi: Teknolojik öncelik diyagramının, matris durumunda ifade edilişidir. Öncelik matrisinde, eğer iş öğeleri arasında öncelik ilişkisi varsa, önde

gelen öğe numaralı satırla; izleyen öğe numaralı sütunun kesiştiği noktaya "1" değeri yerleştirilir. İş öğeleri arasında öncelik ilişkisi yok ise "0" değeri konur.

Tablo 1.2. 10 Öğeli bir Öncelik Matrisi

		ARTÇIL ÖĞELER									
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
ÖNCÜL ÖĞELER	**1**	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Hat Etkinliği: Hat üzerinde operasyonların gerçekleştirildiği etken sürelerin toplamının, montaj için ayrılan süreye oranıdır (Eryürük vd., 2011: 70).

$$HE(\%) = \frac{\sum ES_i}{n * C} * 100 \qquad (1.7)$$

Formül içerisinde belirtilen *HE* hat etkinliği, n iş istasyonu sayısı, C çevrim süresidir. ES_i ise i. istasyonun etken süresidir. Hat etkinliği indeksi sayesinde, toplam işgücünün ne kadarlık bir yüzdesinin montaj hattında kullanıldığı tespit edilir.

Kuramsal Etkinlik: Hattın, çevrim süresi kısıtı altında, en az istasyon sayısıyla çalışması etkinliğidir. İş öğelerinin yeniden düzenlenmesiyle bu etkinlik artabilir (Eryürük vd., 2011: 70).

$$KE\ (\%) = \frac{\sum ES_i}{n_{enaz} * C} * 100 \quad (1.8)$$

KE, kuramsal etkinliği, ES_i ise i. istasyonun etken süresini, C çevrim süresini ve n_{enaz} en az iş istasyonu sayısını ifade etmektedir.

Güvenlik Düzeyi: Çevrim süresi içerisinde, istasyona atanan operasyonların tamamlanabilme olasılığının düzeyidir.

Esneklik Oranı: Esneklik oranı, montaj hattında oluşturulan uygun sıralama sayısını değerlendiren bir kriterdir (Gökçen, 1994: 17).

$$E = \frac{2 * Y}{N * (N - 1)} \quad (1.9)$$

Y, öncelik matrisindeki "0" değerine sahip hücre sayısıdır. Öncelik ilişkilerine bağlı olarak operasyonlar, öncelik diyagramında birbiri ardına sıralanmışsa bu oran 0'a eşittir. Öncelik ilişkilerinin belirlenmediği bir diyagramla, operasyonlar birbirini öncelik ilişkilerine bağlı kalmaksızın takip ediyor ise oran 1'e eşittir. E oranının sıfıra yakın olması, esnekliğin az olduğunu göstermektedir.

1.3.2. Montaj Hattı Dengelemenin Amaçları

Montaj hatları, kütle üretimin önemli bir parçasıdır. Hatlarda oluşan aksaklıklar ve kayıplar işletmeye ciddi ekonomik zararlar vermektedir. Montaj hattı dengeleme ile kaynakların daha etken kullanılması istenmektedir. Çeşitli nedenlerle, montaj hatlarında oluşan zaman, işçilik ve diğer girdi kayıplarının önüne geçmek veya bu kayıpları en aza indirmek için, montaj hattı dengeleme çalışması

yapılmaktadır. Montaj hatlarında aşağıda belirtilen amaçları gerçekleştirmek üzere, montaj hattı dengeleme çalışması yapılır.

Montaj hattı dengeleme çalışmalarında istenen amaçlar şöyledir (Baskak, 1991: 21):

1) Malzeme akışını düzenli bir şekilde gerçekleştirmek,
2) İnsan gücünden maksimum düzeyde faydalanmak,
3) Makine kapasitelerini en üst düzeyde kullanmak,
4) İşlemlerin en az sürede gerçekleşmesini sağlamak,
5) İşlemlerin en az miktarda malzemeyle tamamlanmasını sağlamak,
6) Atıl zamanları ve dengeleme kayıplarını en aza indirmek,
7) Minimum iş istasyonu sayısına ulaşmak,
8) Hat dengeleme maliyetini azaltmak.

Montaj hattı dengelemenin amaçları arasında ilişki olmadığından, yapılan optimizasyon çalışması sonucunda, amaçların hepsini en üst düzeye ulaştırmak mümkün değildir. Montaj hattı dengelemede ana amaç, bütün amaçları aynı anda optimize etmek değil, amaçlar arasındaki çelişkiyi de dikkate alarak en uygun çözümü bulmaktır. Yalnız montaj hattı dengeleme gerçekleştirilirken montaj maliyetlerinin de en aza indirgenmesi gerektiği göz ardı edilmemelidir (Erkut ve Baskak, 1997: 354).

Montaj hattı dengelemeyi gerçekleştirebilmek için ayrıca şu bilgilere ihtiyaç vardır:

- İşin standart yapılış yöntemi,

- Her operasyon için, iş ölçümü sonucunda belirlenmiş geçerli standart zaman,
- İş akış şeması,
- Hat verimliliği,
- Yerleşim kısıtları, hareket alanları ve makine grupları,
- Operasyonlara ait öncelik diyagramı.

Bu bilgiler, temel ve yan kısıtlarla beraber değerlendirildikten sonra, hatta uygun model oluşturulup optimizasyon çalışması yapılması, en uygun çözümün bulunmasında faydalı olacaktır (Çakır, 2006: 5).

1.3.3. Montaj Hattı Dengelemeyi Etkileyen Temel Etmenler ve Kısıtlar

Montaj hattı dengeleme çalışmasını etkileyen faktörler, temel etmenler ve kısıtlar olarak alt başlıklar altında incelenebilir.

1.3.3.1. Temel etmenler

Montaj hattı dengelemeyi etkileyen temel etmenler üçe ayrılır:

- Mühendislik uygulamaları, işlem öncelikleri ve tedarik gereksinimleri,
- İşin yapılmasında izlenen metot,
- Kullanılan makine, teçhizat ve tezgâhlar

1.3.3.2. Kısıtlar

Montaj hattı dengelemenin temel ve yan kısıtları bulunmaktadır. Bu kısıtlar, montaj hattı dengeleme çalışmasının amaç fonksiyonun oluşturulmasında önemli rol oynamaktadır.

Temel Kısıtlar: Montaj hattı dengeleme problemlerinin temel kısıtları, çevrim süresi ve öncelik ilişkileri olmak üzere iki grup altında ele alınabilir.

- **Çevrim Süresi**

İş istasyonunda işlem gören ürünün, istasyonda kalabileceği maksimum süredir. Üretim hedefi, brüt çalışma saati ve tolerans yüzdesi, çevrim süresini etkiler. Bir istasyona atanan operasyonların süreleri toplamı, çevrim süresini aşamaz (Erkut ve Baskak, 1997: 354).

- **Öncelik İlişkileri**

Ürünün ilk istasyondan son istasyona kadar gördüğü işlemler arasındaki ilişkidir. Ürüne uygulanacak bir işlem için, öncül işlem veya işlemlerin kesinlikle bitirilmiş olması gerekir. İstasyonlara operasyon ataması gerçekleştirilirken, öncelik ilişkileri göz önüne alınmalıdır (Erkut ve Baskak, 1997: 355).

Yan Kısıtlar

Montaj hattı dengeleme problemlerinin konum, sabit donanım, istasyon yükü, aynı istasyona atanması ve atanmaması gereken işler olmak üzere yan kısıtları vardır.

- **Konum Kısıtı**

Konum kısıtı, montajı yapılan ürünün konumu ile işlemcilerin hattaki konumu arasındaki ilişkiyi ifade eder. Büyük ölçekli ürünlerin üretiminde, konum kısıtları ile daha sık karşılaşılmaktadır. Hattın sağındaki ve solundaki operasyonların aynı işlemci tarafından gerçekleştirilmesi, çevrim süresi kısıtı göz önüne alındığında mümkün görünmemektedir. Bu sebeple, ürüne göre değişen bir yapı içerisinde hattın sağına ve soluna veya arkasına ve önüne işlemciler atanabilir. Montaj hattı dengelemenin amaçları da bu bağlamda değerlendirilecek olursa hattın iki tarafında yapılan işlerin, birbirlerinden ayrılmasının gerekli olduğu söylenebilir (Erkut ve Baskak, 1997: 355).

- **Sabit Donanım Kısıtı**

Montaj hattında bazı makineler ve test araçlarının yerleri değiştirilemediğinden dolayı, bu araçlarla gerçekleştirilen operasyonların atandığı istasyonlar statik durumdadır. Bu istasyonlara atanan işler, mutlaka bu istasyon bünyesinde tamamlanmalıdır. Sabit donanım kısıtı, operasyonların değiştirilebilirliğini azaltmaktadır (Erkut ve Baskak, 1997: 355).

- **İstasyon Yükü**

Montaj hattında, bazı istasyonlara atanan operasyon sürelerinin toplamı, çevrim süresinden az olmalıdır. Bu sayede ilk istasyon veya istasyonlarda olası bir aksama, tüm hatta etki etmeden engellenir (Erkut ve Baskak, 1997: 355).

- **Aynı İstasyona Atanması İstenen İşler**

Zaman, işlemci veya özel amaçlı araçlar gibi sebeplerle, bazı operasyonlar aynı istasyona atanmalıdır. Bir nevi mecburi olan bu durumlarda, işler ardışık bir şekilde ayrıştırılmadan gerçekleştirilmelidir. Özel amaçlı bir araç kullanılmasıyla gerçekleştirilecek iki işin, aynı işlemci tarafından yapılması, ikinci bir işlemcinin bu operasyon için zaman harcamasını ve ikinci bir aygıt gereksinimini ortadan kaldıracaktır (Erkut ve Baskak, 1997: 355).

- **Aynı İstasyona Atanmaması İstenen İşler**

Bazı operasyonlar niteliği gereği, aynı istasyona atanamaz. Aşırı fiziksel güç kullanımı gerektiren iki operasyonun, aynı iş istasyonuna atanması hatta aksamalara neden olabilir. Aynı şekilde teknolojik araç kullanımı çok fazla olan iki operasyonda, aynı iş istasyonuna atanamaz. Titreşimli bir çalışma ile hassas ölçme gerektiren bir işin aynı istasyona atanmaması bu duruma örnek gösterilebilir (Erkut ve Baskak, 1997: 356).

1.3.4. Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinin Sınıflandırılması

Montaj hattı dengeleme problemleri (MHDP) ile ilgili yapılan birçok çalışma literatürde mevcuttur. Yapılan çalışmalar, problemin yapısına ve çözüm yaklaşımlarına göre farklı sınıflara ayrılabilir.

1.3.4.1. Amaç Sayısına Göre MHDP

Montaj hattı dengeleme problemlerini çözmek için oluşturulan amaç fonksiyonu, bir veya birden fazla performans ölçütünü en iyilemeyi amaçlayabilir.

Literatürde en fazla karşılaşılan amaç fonksiyonları Tip-1 ve Tip-2 temellidir. Tip-1 problemleri, çevrim süresini sabit tutarak iş istasyonu sayısını azaltmaya çalışır. Tip-2 problemleri ise iş istasyonu sayısını sabit tutarak çevrim süresini en azlamaya çalışmaktadır.

1.3.4.2. İşlem Sürelerine Göre MHDP

İşlem sürelerine göre montaj hattı dengeleme problemleri, operasyon sürelerinin belirli (deterministik), operasyon sürelerinin değişken (stokastik) ve operasyon sürelerinin belirsiz (bulanık) olduğu düşünülerek üç grup altında incelenebilir.

- **Deterministik MHDP**

Manüel montaj hatlarında kalifiye iş gücü kullanıldığı takdirde, operasyon süreleri sabittir. Gelişmiş makinelerin kullanıldığı otomatik montaj hatlarında ise ileri teknolojiye sahip makineler ve robotlar operasyonları daima aynı sürede gerçekleştirir. Operasyon süresinin azaltılması isteniyorsa, montaj hattının otomasyon seviyesi arttırılmalıdır (Rekiek ve Delchambre, 2006: 20).

- **Stokastik MHDP**

Operasyon sürelerinin kesin olarak bilinmediği varsayılmakta fakat operasyon süreleri olasılıklı dağıtımla tahmin edilebilmektedir (Özgörmüş, 2007: 17). Operasyon sürelerindeki değişiklik kalifiye olmayan çalışanlardan, çalışanların motivasyon eksikliğinden, eğitim eksikliğinden veya makine aksamalarından gerçekleşmektedir (Rekiek ve Delchambre, 2006: 20).

- **Bulanık MHDP**

Operasyon sürelerinin sabit ya da olasılıklı dağıtım kullanılarak belirlenemediği durumlarda, operasyon sürelerinin bulanık sayılarla ifade edildiği problemlerdir. Bulanık zamanlı montaj hattı dengeleme problemleri, hattın kurulum aşamasında ortaya çıkmaktadır. Operasyon süreleri bu tip problemlerde tecrübeye dayalı olarak veya sezgisel yöntemler kullanılarak belirlenir (Özgörmüş, 2007: 17).

1.3.4.3. Ürün / Model Sayısına Göre MHDP

Model sayısına göre hatlar; tek modelli, karışık modelli ve çok modelli olarak ayrılabilmektedir. Bu sınıflamayla beraber montaj hatlarında tek tip ürün, benzer birkaç ürün veya birçok ürün üretilebilmektedir. Ürün/Model sayısına göre montaj hattı dengeleme problemleri de ürün çeşitliliğine uygun olarak; tek modelli, karışık modelli veya çok modelli MHDP olarak sınıflandırılabilir.

1.3.4.4. Basit ve Genel MHDP

Literatürde montaj hattı dengeleme ile ilgili yapılmış çalışmaların çoğu, Basit Montaj Hattı Dengeleme problemleri üzerinedir. BMHDP'nin karakteristik özellikleri şöyledir (Becker ve Scholl, 2003: 4):

- Homojen bir ürün için seri üretim gerçekleşmesi,
- Operasyon sürelerinin deterministik olması,
- Öncelik ilişkileri haricinde atama kısıtı bulunmaması,
- M tane iş istasyonuna sahip düz bir hat olması,
- Hat etkinliğinin maksimize edilmeye çalışılmasıdır.

Tablo 1.3. Basit Montaj Hattı Dengeleme Problem Tipleri

BMHDP Versiyonları		Çevirim Zamanı (C)	
		Verilmiş	En Küçükle
İstasyon Sayısı (m)	Verilmiş	BMHDP-F	BMHDP-2
	En Küçükle	BMHDP-1	BMHDP-E

Kaynak: Becker ve Scholl, 2006: 699

Amaç fonksiyonu düşünülerek, basit montaj hattı dengeleme problemleri dört gruba ayrılır (Becker ve Scholl, 2006: 699).

- BMHDP-1: Çevrim süresi kısıtı altında, iş istasyonu sayısı minimize etmeye çalışılır. Bu amaç, aynı zamanda atıl zamanları da en aza indirgemektedir.
- BMHDP-2: Belirli iş istasyonu sayısı için, çevrim süresini minimize etmeye çalışmaktadır.
- BMHDP-E: Hat etkinliğini arttırmayı amaçlar. Bu tip problemlerde iş istasyonu ve çevrim süresi değişken olarak kabul edilir ve her ikisi de optimize edilmeye çalışılır.
- BMHDP-F: En iyi çözümü bulmayı arayan bir amaç fonksiyonu yoktur. Çevrim süresi kısıtına bağlı kalarak, uygun bir hat dengelemesi yapılmaya çalışılır.

Basit montaj hattı dengeleme çalışmaları çeşitli sebeplerden, gerçek hayattaki montaj hatlarıyla uyum göstermemiş ve sadece akademik çalışmalarda kalmıştır. Bu sebeple araştırmacılar çalışmalarını veri setleriyle değil, gerçek montaj hatlarında yapmak için genel montaj hattı dengeleme problemleriyle ilgilenmeye başlamıştır.

Genel montaj hattı dengeleme problemleri, literatürde bulunan tek taraflı montaj hattı problemlerinin varsayımlarını kaldırarak genelleştirir (Becker ve Scholl, 2006: 699).

2. ÇİFT TARAFLI MONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMİ

Montaj hattı dengeleme problemi, operasyonların genel olarak temel ve yan kısıtlarını göz önüne alarak bir ya da daha fazla performans ölçütünü, en iyi şekilde istasyonlara atanması problemidir. Montaj hattı dengeleme problemleri, tek taraflı montaj hattı ve çift taraflı montaj hattı olmak üzere iki grup altında incelenebilir (Özcan ve Toklu, 2009b: 822). Tek taraflı montaj hatlarında, montaj hattının yalnız bir tarafı kullanılırken; çift taraflı montaj hatlarında ise hattın her iki tarafı da kullanılabilir. Birbirleriyle karşılıklı olarak yerleştirilmiş iş istasyonlarına eş istasyon, hattın sağ ve sol tarafında olan istasyonlara ise parça istasyon adı verilir.

Montaj hattının her iki tarafını kullanan çift taraflı montaj hatlarını; kamyon, otobüs gibi büyük boyutlu ürünlerin üretildiği fabrikalar kullanmaktadır (Xiaofeng vd., 2010: 703). Çünkü büyük boyutlu ürünlerin montajı yapılırken, bazı durumlarda hattın her iki tarafının da kullanılması gerekmektedir. Bu sebeple operasyonlar sol, sağ ve her iki tarafta yapılacak işler olarak ayrılabilir (Purnomo vd., 2011: 1). Örneğin kamyonun benzin tankı ve hava filtresi montaj hattının sol tarafından kolaylıkla yapılabilirken, hava tankı ve egzoz ise montaj hattının sağ tarafından rahat bir şekilde yapılabilir. Bununla birlikte pervane mili, radyatör her iki taraftan yapılabilir (Wu vd., 2008: 1009).

2.1. Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme Probleminin Tanımı

Çift taraflı montaj hatlarında operasyonlar, iş istasyonlarına çevrim süresi, öncelik ilişkileri ve konum kısıtına uyacak şekilde atanır. Çift taraflı montaj hattı eş istasyon ve parça istasyonlardan oluşur.

Çift taraflı montaj hatlarını, tek taraflı montaj hatlarından ayıran temel fark, konum kısıtının temel kısıtlar arasında yer almasıdır. Yani operasyonlar hattın sol(L) tarafında, sağ(R) tarafında veya her iki tarafında(E) işlemci tarafından gerçekleştirilebilir diye ayrılmalıdır (Kim vd., 2009: 853). Bu aşamadan sonra öncelik ilişkileri oluşturulması, çift taraflı montaj hattı dengeleme probleminin en iyi sonuca ulaşmasında faydalı olacaktır.



Kaynak: Kim vd., 2000: 45

Şekil 2.1. Çift Taraflı Montaj Hatlarının Yapısı

Şekil 3.1.'de görüldüğü üzere Çift Taraflı Montaj Hatlarında ürün taşıyıcı vasıtasıyla hatta ilerlerken hattın sağına ve soluna yerleştirilmiş karşılıklı istasyonlarda ürün işlem görmektedir.

Çift taraflı montaj hattı dengeleme problemlerinin ortaya çıkış nedenlerini şöyle sıralanabilir (Baykaşoğlu ve Dereli, 2008: 582):

- Büyük boyutlu ürünlerin montaj işlemi ürünün her iki tarafında çalışmayı gerekli kılmıştır.
- Çift taraflı montaj hattında spesifik durumlar söz konusudur. Bunlar, çift taraflı montaj hatlarında sıkça kullanılan bölgesel ve pozisyonel kısıtlamalardır.
- Hat dizaynı gerçekleştikten sonra, iş istasyonlarında değişiklik yapmak mümkün değildir. Geleneksel metotların hemen hemen hepsi operasyonların devam ederken hattın değiştirilebileceğini varsaymaktadır.

2.2. Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme Probleminin Kısıtları

Çift taraflı montaj hatlarında bulunan en önemli kısıt, operasyonların konum kısıtıdır. Bu konum kısıtı sebebiyle, operasyonlar gelişigüzel bir şekilde istasyonlara atanamaz. Operasyon hattın sağ (R) tarafında, sol (L) tarafında veya her iki (E) tarafında da işlem görebilir. Operasyonun işlem göreceği taraf belirlendikten sonra atama yapılır. Çift taraflı montaj hattında kullanılan diğer kısıtlar şunlardır:

- Konumsal Kısıtlar: Belirlenmiş bazı operasyonlar belli iş istasyonlarında yapılmalıdır. Çünkü bu operasyonların gerçekleşmesi esnasında büyük boyutlu sabit makine veya teçhizattan faydalanılması gerekebilir. Bu makine veya teçhizatın yeri, hattın tasarım aşamasında sabitlenmişse, bu istasyona sözü geçen makinelerden en fazla istifade edecek operasyonlar atanmalıdır (Özcan ve Toklu, 2009b: 823). Zorunlu hallerde hattın tasarımı tekrar yapılabilir fakat bu değişiklik işletmenin ciddi bir maliyete katlanmasına neden olur.

- Bölge Kısıtları: Bazı operasyonlar, niteliği gereği aynı iş istasyonuna atanmamalıdır. Daha önce de örneği verildiği üzere, çok fazla iş gücü gerektiren işler bu duruma örnek gösterilebilir. Bazı operasyonların ise aynı hatta atanmaları gerekmektedir. Aynı makine ve teçhizat kullanımının gerektiği iki operasyonun aynı iş istasyonuna atanmaları, hattın daha verimli çalışmasına katkıda bulunacaktır.
- Senkronizasyon Kısıtları: Bazı operasyonların, eş istasyonlarda aynı anda başlaması ve bitirilmesi gerekebilir. Kamyon kabinine ait üst panelin yerleştirilmesi, bu duruma örnek gösterilebilir.
- Gruplandırma: İşletmenin Üretim Planlama birimi yetkililerinin ve istasyon amirlerinin tecrübelerinden faydalanılarak, bazı operasyonların aynı iş istasyonunda gruplandırılması, kaynakların daha etken kullanılmasına yardımcı olacaktır. Örneğin aracın elektrik kablolarının çekilmesi işlemi, farklı istasyonlarda tamamlanabilir. Ancak bu işlemlerin gruplandırılarak tek kişi tarafından yapılması daha uygundur (Bartholdi, 1993: 2453).

2.3. Çift Taraflı Montaj Hatlarının Tek Taraflı Montaj Hatlarına Göre Avantajları ve Dezavantajları

Bartholdi'nin belirttiği üzere çift taraflı montaj hatlarının, tek taraflı hatlara göre birçok avantajı vardır. Bu avantajlar şöyle sıralanabilir:

- Operasyon süreleri tek taraflı hatlara göre daha kısadır. İşlemci kendisine tanımlanan hattın sağ veya sol tarafındaki operasyonları gerçekleştireceğinden, hattın diğer tarafına geçmek ve oradaki

operasyonlara hazırlanmak için fazladan zaman harcamak zorunda değildir (Bartholdi, 1993: 2448).

- Hat uzunluğu daha kısadır. Hat kısalığı aynı zamanda malzeme taşıma maliyetlerini de azaltmaktadır (Özcan ve Toklu, 2009: 822).

Bu avantajlarına karşın, hatta bulunan tüm operasyonlar arasında öncül ve ardıl ilişkisi varsa, tek taraflı hat kullanılması daha faydalı olacaktır (Çantaoğlu, 2009: 9).

2.4. Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme Problemi İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Çift taraflı montaj hattı dengeleme problemleri ile ilgili yapılmış ilk çalışma, Bartholdi (1993)'ye aittir. Bartholdi tarafından geliştirilen yazılım sayesinde, tek taraflı ve çift taraflı montaj hatları dengelenmeye çalışılmıştır. Geliştirilen programın dengeleme prosedürü, ilk uygunluk kuralı temeline dayanmaktadır.

Kim vd. (2000), çift taraflı montaj hattı dengeleme problemlerine, genetik algoritma yaklaşımıyla çözüm aramıştır. Genetik algoritma yaklaşımı, kodlama ve kodların çözülmesi temelli işlem basamakları ile dengeleme problemini optimize etmeye çalışmaktadır. Yapılan çalışma, konum kısıtları ve operasyonel kısıtlar dikkate alınarak, her aşamada gözden geçirilmiştir. Küçük ölçekli problemler üzerinde sınanan yaklaşım, matematiksel formülasyonla birleştirildiğinde optimum sonuca ulaşmıştır.

Lee vd. (2001), çift taraflı montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümü için sezgisel bir yöntem geliştirmiştir. Bu sezgisel yöntemle beraber iki yeni

performans ölçütü tanımlanmıştır. İlk ölçüt olan *İş bağımsızlığı*, Agrawal (1985)'in, formülasyonuna dayanmaktadır. İş bağımsızlığı, aralarında ilişki bulunmayan operasyonların, aynı iş istasyonuna atanması halinde meydana gelmektedir. Bu durumda, aralarında öncelik ilişkisi bulunmayan iki işten herhangi birine başlanabilir. Diğer ölçüt ise *İş gevşekliğidir*. İş gevşekliğinde ise, operasyonların düzenli bir şekilde birbirini takip etmesi sayısal bir şekilde ifade edilir. Aralarında öncelik ilişkisi bulunan iki işin arasına tampon bölge konulur. Bu sayede ilk istasyonda meydana gelen olası bir gecikme, sıralı istasyonları etkilemeyecektir. Problemin çözümü için sezgisel bir yöntem geliştirilmiştir. Bu sezgisel yöntem, operasyonların gruplandırılması temeline dayanır.

Wu vd. (2008), problemin çözümünde dal-sınır algoritmasını kullanmıştır. Ayrıca tip-1 problemlerinin çözümü için doğrusal olmayan bir matematiksel formülasyon önermiştir. Çalışma içerisinde her iki tarafta yapılabilen operasyonların fazlalığından dolayı, numaralandırma ağacı kontrol edilemeyecek büyüklüğe kavuşmuştur. Bunu önlemek için, operasyonları gruplandırmış ve bu gruplamayı ise belirlediği kurallara göre gerçekleştirmiştir.

Baykaşoğlu ve Dereli (2008) ise, optimum sonuca ulaşmak için karınca kolonisi tekniğini kullanmıştır. İş istasyonu sayısını minimize etmeyi amaçlayan çalışma, aynı zamanda Agrawal'in formülünü kullanarak iş bağımsızlığını da maksimize etmeye çalışmaktadır. Çalışma pozisyonel kısıtları göz önüne alarak çözüm aramaktadır.

Xiaofeng vd (2008) istasyon tabanlı bir algoritma geliştirerek, çift taraflı montaj hattı dengeleme problemine çözüm aramıştır. Çalışmada ilk olarak zaman

transfer fonksiyonu tanımlanmış ve operasyonların en erken ve en geç başlama zamanlarını belirlemek için öncelik ilişkileri oluşturulmuştur. Yön ve çevrim süresi kısıtları dikkate alınarak, sol istasyondan sağ istasyona doğru istasyon tabanlı bir süreç geliştirilmiştir. Önerilen algoritma, Hoffmann'ın sezgisel yaklaşımıyla birleştirilip probleme çözüm aranmıştır. Örnek veri setleri üzerinde yapılan çalışma, etkili sonuca ulaşmıştır.

Kim vd. (2009), çift taraflı montaj hattı dengeleme tip-2 problemleri için matematiksel model ve genetik algoritma yaklaşımı geliştirmiştir. Yapılan çalışma, tip-2 problemine matematiksel model geliştiren ilk çalışmadır. Her istasyon tarafı için ikili istasyon değişkeni kullanılmıştır. Küçük hacimli problemler üzerinde test edilmiş ve optimum sonuca ulaşılmıştır.

Simaria ve Vilarinho (2009), büyük boyutlu çift taraflı montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümü için karınca kolonisi optimizasyonunu önermiştir. Çalışmada öncelikle çift taraflı montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümü için matematiksel model önerilmiştir. Daha sonra problemin çözümü için karınca kolonisi optimizasyonu uygulanmıştır. İş istasyonu sayısını azaltmayı amaçlayan çalışmanın sonuçları Lee vd.'nin çalışmalarıyla karşılaştırılmış ve daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Özcan ve Toklu (2009a), çoklu-kriter karar verme tekniğiyle, çift taraflı montaj hattı dengeleme problemini optimize etmeye çalışmıştır. Çalışma ile matematiksel model, hedef programlama ve bulanık mantık yaklaşımı kullanılmıştır. Literatürdeki test problemleri pozisyonel kısıtlar göz önüne alınarak çözülmüştür. Eş istasyon sayısı, çevrim süresi ve her bir istasyona atanan operasyon sayısı hedef

olarak ifade edilmiştir. Önerilen modelin hedeflere ulaşmadaki başarısı kanıtlanmıştır.

Özcan ve Toklu (2009b), farklı bir çalışmayla çift taraflı montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümü için tabu arama algoritmasını önermiştir. Hat etkinliği ve düzgünlük indeksi, performans ölçütü olarak değerlendirilmiştir. Literatürdeki test problemine uygulanan yöntemle etkili sonuçlara ulaşılmıştır.

Özcan (2010), çift taraflı montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümü için şans kısıtlı, parçalı doğrusal, karma tamsayılı programlamayı(CPMIP) önermiştir. Önceki çalışmalarda deterministik kabul edilen operasyon süreleri, bu çalışmada stokastik olarak değerlendirilmiştir. Operasyon sürelerinin stokastik olarak değerlendirilmesindeki neden; işlemcilerin motivasyon eksikliği, eğitim eksikliği, kalifiye olmayan işlemciler ve makine aksamalarından kaynaklanan süre değişiklikleridir. Test problemleri CPMIP ve benzetimli tavlama(SA) kullanılarak çözülmüş ve etkili sonuca ulaşılmıştır.

Taha vd (2011), genetik algoritma yaklaşımıyla, çift taraflı montaj hattı dengeleme problemlerini en iyilemeye çalışmıştır. Genetik algoritma ile başlangıç popülasyonu oluşturmak için yeni bir teknik geliştirilmiştir. İstasyon tabanlı prosedür, eş istasyonlara operasyonları atamak için kullanılmıştır. Çalışmada, her iki tarafta yapılan işler rastsal bir şekilde sağ ve sola dağıtılmamış, yön atama kuralına göre atamalar yapılmıştır. Bu kural büyük problemlerin çözümünde çok etkilidir. Genetik algoritma ile çözüm uzayının farklı yerinde başlangıç popülasyonları oluşturularak, uygun çözüm aranmıştır. Sınırlı sayıda adım sonrasında, algoritma optimum sonuca ve bu sonuca yakın çözüm kümesine ulaşmıştır.

Chutima ve Chimklai (2012) ise, çift taraflı montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümü için, parçacık sürü optimizasyonu (PSO) tekniğini kullanmışlardır. Parçacık sürü optimizasyonu, kuşların sürü halinde hareketlerinden esinlenen metasezgisel bir yöntemdir. Parçacık sürü optimizasyonu, çok amaçlı ayrık problemlerin çözümünde çok sık kullanılan bir yöntem değildir. Çalışmada negatif bilgi ile PSO algoritması, karışık modelli çift taraflı montaj hattı dengeleme problemlerine uygulanmıştır. Sonuçların değerlendirilmesiyle PSO'nun optimal sonuçlara ulaşmadaki başarısı kanıtlanmıştır.

Tablo 2.1. Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme Problemleri ile İlgili Önceki Çalışmalar

Yazar(lar)	Veri seti	Problem Tipi	İşlem Süreleri	Yöntem	Sonuçlar
Bartholdi (1993)	148 işlem	Tip 1	Deterministik	İlk Uygunluk Kuralı (FFR)	1-2 istasyonun kapatılarak 59 işlemciden 53 işlemciye düşürülmüştür.
Kim, Kim ve Kim (2000)	24 işlem	Tip 1	Deterministik	Genetik Algoritmalar(GA)	8 istasyondan 6 istasyona düşürülmüştür.
Lee, Kim ve Kim (2001)	65,148 ve 205 işlem	Tip 1 ve Tip 2	Deterministik	Grup atama prosedürü ile sezgisel yöntem	Farklı çevrim sürelerinde ilerleyen iterasyonlardaki optimum istasyon sayıları ve çevrim süreleri verilmiştir.
Wu, Jin, Bao ve Hu (2008)	12,16,24,65 ve 148 işlem	Tip 1	Deterministik	Dal-sınır algoritması	21 operasyondan oluşan veri setine uygulanan yöntem çözüme ulaşmada etkili olmuştur.
Baykaşoğlu ve Dereli (2008)	9,12,24,65,148 ve 205 işlem	Tip 1	Deterministik	Karınca Kolonisi(ACO)	9,12 ve 24 operasyonlu veri setlerinde GA ile aynı sonuçlara ulaştığı, 65,148 ve 205 operasyonlu veri setlerinde ise grup atama prosedüründen daha optimum sonuçlara ulaştığı görülmüştür.
Xiaofeng, Erfei ve Ye (2008)	9,12,16 ve 24 işlem	Tip 1	Deterministik	İstasyon tabanlı numaralandırma algoritması	Bilinen test problemleri üzerine uygulanan yöntem etkili sonuçlara ulaşmıştır.
Kim, Song ve Kim (2009)	12,16,24,65,148 ve 205 işlem	Tip 2	Deterministik	Matematiksel model ve genetik algoritmalar (GA)	Yapılan çalışmanın sonuçları ilk uygunluk kuralı (FFR) ile alınan sonuçlarla karşılaştırıldığında daha optimumdur.
Simaria ve Vilarinho (2009)	65,148 ve 205 işlem	Tip 1	Deterministik	Karınca Kolonisi (ACO)	Lee vd.'nin çalışması ile yapılan karşılaştırmada yöntemin daha iyi sonuçlara ulaştığı belirtilmiştir.
Özcan ve Toklu (2009a)	9,12,16 ve 24 işlem	Tip 1	Deterministik	Bulanık Hedef Programlama	MIGP ve FMIGP ile alınan sonuçlar karşılaştırılmış ve bölgelendirme kısıtı problemlere uygulanıp uygulanmadığında verdiği sonuçlar belirtilmiştir.

Özcan ve Toklu (2009b)	9,12,16,24,65 ve 148 işlem	Tip 1	Deterministik	Tavlama Benzetimi (SA)	Önerilen algoritma kısa sürede optimum sonçlara ulaşmıştır.
Özcan (2010)	9,12,16,24,65 ve 148 işlem	Tip 1	Stokastik	Şans kısıtlı, parçalı doğrusal, karışık tamsayılı programlama (CPMIP)	Şans kısıtlı,parçalı doğrusal, karışık tamsayılı (CPMIP) ve Tavlama benzetimi sonuçları ayrıntılı olarak karşılaştırılmıştır.
Taha (2011)	9,12,16,24,65,148 ve 205 işlem	Tip 1	Deterministik	Genetik Algoritmalar(GA)	Önerilen algoritma sınırlı sayıda itterasyonda optimum ve optimuma yakın sonuçlara ulaşmaktadır.
Chutima ve Chimklai (2012)	12,65,148 ve 205 işlem	Tip 1	Deterministik	Parçacık Sürü Optimizasyonu(PSO)	Parçacık sürü optimizasyonunun (PSO) nun başarısı sonuçlarla kanıtlanmıştır.

2.5. Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme Problemleri için Matematiksel Model

Çift taraflı montaj hattı dengeleme problemlerini, tip-1 ve tip-2 problemleri olarak sınıflandırmak mümkündür. Tip-1 problemleri belirlenmiş çevrim süresi içerisinde, istasyon sayısını en aza indirgemeyi amaçlayan problemlerdir. Tip-1 problemlerinin çözümü için geliştirilen amaç fonksiyonu ve kısıtlar şöyle tanımlanabilir (Arıkan, 2009: 16):

Notasyon

L: Sol tarafa atanan operasyonların kümesi

R: Sağ tarafa atanan operasyonların kümesi

E: Her iki tarafa atanabilen operasyonların kümesi

T: Tüm operasyonların kümesi (T= L ∪ R ∪ E)

K: Taraf kümesi K= {0 (sağ),1(sol)}

J: İstasyon kümesi

P_i : i operasyonundan hemen önceki operasyonların kümesi

P_i^* : i operasyonun önceki tüm operasyonların kümesi

S_i : i operasyonundan hemen sonraki operasyonların kümesi

S_i^* : i operasyonundan sonraki tüm operasyonların kümesi

C_i : i operasyonu ile birlikte aynı tarafa atanamayacak operasyonların kümesi

$$C_i = \begin{cases} R \text{ eğer } \text{i} \in \text{L} \\ L \text{ eğer } \text{i} \in \text{R} \\ \emptyset \text{ eğer } \text{i} \in \text{E} \end{cases}$$

t_i : i operasyonunun tamamlanma süresi

İndisler

i,p,h: operasyon rakamı i =1,…,n(T)

j: istasyon rakamı j =1,…,n(J)

k: taraf rakamı k = 0(sağ operasyonlar için), 1(sol operasyonlar için)

Parametreler

CT: Çevrim Süresi

M_{th}: t^{th} en büyük rakam

MaxN : Hat uzunluğu için en üst sınır

n(j) = MaxN

Karar Değişkenleri

Sta_i : i operasyonunun atandığı istasyon rakamı (i ∈ T)

X_{ijk} : Operasyon-istasyon-taraf ataması için ikili değişken (i ∈T, j ∈ J, k ∈ K)

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1, & i \text{ operasyonu } j \text{ istasyonunun } k \text{ taraf}\text{ına atanmışsa} \\ 0, & \text{atanmam}\text{ışsa} \end{cases}$$

FT_i : i operasyonun atandığı istasyondaki bitiş zamanı

AD_i : Operasyonun taraf ataması için ikili değişken (i ∈ T)

$$AD_i = \begin{cases} 1, & eğer\ i\ operasyonu\ istasyonun\ sol\ tarafına\ atanmışsa \\ 0, & eğer\ i\ operasyonu\ istasyonun\ sağ\ tarafına\ atanmışsa \end{cases}$$

Dir_i : i operasyonun yapılması için tercih edilen taraf

$$Dir_i : \begin{cases} 1\ eğer ioperasyonusoltarafoperasyonuise \\ 0\ eğer ioperasyonusoltarafoperasyonuise \end{cases}$$

N: Hat uzunluğu, eş istasyon sayısı

2.5.1. Tip-1 Problemi için Matematiksel Model

Operasyonların taraf kısıtının bulunması, problemi daha zor hale getirmektedir. Bazı hatların sağ ve sol tarafında aynı sayıda operasyon bulunmamaktadır. Bu nedenle çift taraflı montaj hatlarında, düz hatlara göre atıl zaman daha fazla oluşmaktadır. İstasyon sayısını minimize etmeyi amaçlayan amaç fonksiyonu ve kısıtları şöyledir:

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min } N \qquad (2.1)$$

Kısıtlar

$$Sta_i = \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} j.\ X_{ijk} \qquad \forall i \in T \qquad (2.2)$$

$$X_{ij1} = 0 \qquad \forall i \in R \text{ ve } \forall j \in J \qquad (2.3)$$

$$X_{ij0} = 0 \qquad \forall i \in L \text{ ve } \forall j \in J \qquad (2.4)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} j.\ X_{ijk} = 1 \qquad \forall i \in T \qquad (2.5)$$

$$AD_i = \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} k.\ X_{ijk} \qquad \forall i \in E \qquad (2.6)$$

$$AD_i = Dir_i \qquad \forall i \in L \cup R \qquad (2.7)$$

$$Sta_i \geq Sta_p \qquad \forall i \in T \text{ ve } \forall p \in P_i \qquad (2.8)$$

$$FT_i \geq t_i \qquad \forall i \in T \qquad (2.9)$$

$$FT_i \leq CT \qquad \forall i \in T \qquad (2.10)$$

$$M_1.(Sta_i - Sta_p) + FT_i \geq FT_p + t_i \qquad \forall i \in T \text{ ve } \forall p \in P_i \qquad (2.11)$$

$$M_2.(1 - Z_{ih}) + M_3.(Sta_h - Sta_i) + M_4.(AD_h - AD_i) + FT_h \geq FT_i + t_h$$

$$\forall (i,h) \in H \qquad (2.12)$$

$$M_2.Z_{ih} + M_3.(Sta_i - Sta_h) + M_4.(AD_i - AD_h) + FT_i \geq FT_h + t_i$$

$$\forall (i,h) \in H \qquad (2.13)$$

$$Sta_i \leq N \qquad \forall i \in T \qquad (2.14)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in T, \forall j \in J \text{ ve } \forall k \in K \qquad (2.15)$$

$$AD_i \in \{0,1\} \qquad \forall i \in T \qquad (2.16)$$

$$Z_{ih} \in \{0,1\} \qquad \forall (i,h) \in H \qquad (2.17)$$

Amaç (1) eş istasyon sayısını minimize etmektir. Kısıt (2) işlemlerin hangi istasyona atandığını belirtmektedir. Kısıtlar (3) ve (4) taraf kısıtlarıyla işlemlerin uygun tarafa atanmalarını sağlamaktadır. Kısıt (5) her işlemin, bir istasyonun sadece bir tarafına atanmasını ifade etmektedir. Kısıtlar (6) ve (7) her işlemin atandığı

tarafın kaydını göstermektedir. Kısıt (8) bir işlem öncülü olan bir işlemden önceki istasyona atanamayacağını göstermektedir. Kısıt (9) işlemin bitirme süresini proses süresinden az olmasını sağlamaktadır. Kısıt (10) işlemin bitiş süresini çevrim süresi ile sınırlandırmaktadır. Kısıt (11) aynı istasyona atanan aralarında öncelik ilişkisi bulunan işlemlerin aynı anda başlayamayacağını belirtmektedir. Kısıtlar (12) ve (13) aralarında öncelik ilişkisi bulunmayan işlemlerin aynı istasyonun aynı tarafına atanmasını engellemektedir. Kısıt (14) amaç ile birlikte, işlemlerin atandığı istasyonlara ait maksimum hat uzunluğuna eşittir. Kısıtlar (15), (16) ve (17) değişken tiplerini tanımlamaktadır.

2.5.2. Tip 2 Problemi İçin Matematiksel Model

Kısıt fonksiyonları Tip-1 problemi ile aynı olan Tip-2 probleminin amacı çevrim süresini minimize etmektir.

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min } CT \tag{2.18}$$

Kısıtlar

$$Sta_i = \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} j.\ X_{ijk} \qquad \forall i \in T \tag{2.19}$$

$$X_{ij1} = 0 \qquad \forall i \in R \text{ ve } \forall j \in J \tag{2.20}$$

$$X_{ij0} = 0 \qquad \forall i \in L \text{ ve } \forall j \in J \tag{2.21}$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} j.\ X_{ijk} = 1 \qquad \forall i \in T \tag{2.22}$$

$$AD_i = \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} k.\ X_{ijk} \qquad \forall i \in E \tag{2.23}$$

$$AD_i = Dir_i \qquad \forall i \in L \cup R \qquad (2.24)$$

$$Sta_i \geq Sta_p \qquad \forall i \in T \text{ ve } \forall p \in P_i \qquad (2.25)$$

$$FT_i \geq t_i \qquad \forall i \in T \qquad (2.26)$$

$$FT_i \leq CT \qquad \forall i \in T \qquad (2.27)$$

$$M_1.(Sta_i - Sta_p) + FT_i \geq FT_p + t_i \qquad \forall i \in T \text{ ve } \forall p \in P_i \qquad (2.28)$$

$$M_2.(1 - Z_{ih}) + M_3.(Sta_h - Sta_i) + M_4.(AD_h - AD_i) + FT_h \geq FT_i + t_h$$

$$\forall (i,h) \in H \qquad (2.29)$$

$$M_2.Z_{ih} + M_3.(Sta_i - Sta_h) + M_4.(AD_i - AD_h) + FT_i \geq FT_h + t_i$$

$$\forall (i,h) \in H \qquad (2.30)$$

$$Sta_i \leq N \qquad \forall i \in T \qquad (2.31)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in T, \forall j \in J \text{ ve } \forall k \in K \qquad (2.32)$$

$$AD_i \in \{0,1\} \qquad \forall i \in T \qquad (2.33)$$

$$Z_{ih} \in \{0,1\} \qquad \forall (i,h) \in H \qquad (2.34)$$

Amaç (18) çevrim süresini minimize etmektir. Kısıt (19) işlemlerin hangi istasyona atandığını belirtmektedir. Kısıt (20) ve (21) taraf kısıtlarıyla işlemlerin uygun tarafa atanmalarını sağlamaktadır. Kısıt (22) her işlemin, bir istasyonun sadece bir tarafına atanmasını ifade etmektedir. Kısıt (23) ve (24) her işlemin atandığı tarafın kaydını göstermektedir. Kısıt (25) bir işlem öncülü olan bir işlemden önceki istasyona atanamayacağını göstermektedir. Kısıt (26) işlemin bitirme süresini

proses süresinden az olmasını sağlamaktadır. Kısıt (27) işlemin bitiş süresini çevrim süresi ile sınırlandırmaktadır. Kısıt (28) aynı istasyona atanan aralarında öncelik ilişkisi bulunan işlemlerin aynı anda başlayamayacağını belirtmektedir. Kısıt (29) ve (30) aralarında öncelik ilişkisi bulunmayan işlemlerin aynı istasyonun aynı tarafına atanmasını engellemektedir. Kısıt (31) amaç ile birlikte, işlemlerin atandığı istasyonlara ait maksimum hat uzunluğuna eşittir. Kısıtlar (32), (33) ve (34) değişken tiplerini tanımlamaktadır.

3. GENETİK ALGORİTMALAR

Klasik sezgisel yöntemlerin kullanılmasının bazı sınırlılıklarla karşılaşmasıyla yeni bir yakınsama algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritmayla arama uzayında daha geniş ve daha verimli arama yapılması sağlanmıştır. Geliştirilen bu sezgisel yöntemlere meta-sezgisel yöntemler denilmektedir. Tabu Arama, Benzetilmiş Tavlama, Karınca Koloni Algoritması, Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Genetik Algoritmalar meta-sezgisel yöntemler arasındadır. Tabu arama algoritması Gloover (1986) tarafından geliştirilen iteratif bir araştırma algoritmasıdır. Benzetilmiş tavlama ilk meta-sezgisel yöntemlerden biridir ve popülaritesini yerel minimuma takılmamasından almaktadır (Önder, 2011: 76). Karınca koloni algoritması ise Dorigo (1991) tarafından yapay karınca kolonilerinin bir optimizasyon aracı olarak kullanılmasıyla ortaya çıkmıştır (Karaboğa, 2011:112). Parçacık sürü optimizasyonu ise kuş ve balık gibi hayvanların sürü teorisini temel alarak Kennedy ve Eberhart (1995) tarafından geliştirilmiştir (Önder, 2001: 79). Genetik algoritmalar ise Darwin'in evrim teorisinden esinlenerek geliştirilen bir meta-sezgisel yaklaşımdır. Bu bölüm içerisinde genetik algoritmalarla ilgili ayrıntılı bilgi verilmektedir.

3.1. Evrimsel Hesaplama

1960'lardan bu yana optimizasyon problemleri için, canlıların varoluş yapılarına benzeyen güçlü algoritmalara olan ilgi artmaktadır. Bu artan ilgiyle

geliştirilen teknikler, genetik programlama (Koza, 1992), evrimsel programlama (Forgel vd, 1966), evrimsel stratejiler (Recheuberg,1973) ve genetik algoritmalar (Holland, 1975). Evrimsel hesaplama terimi, bu tekniklerin hepsi için kullanılan ortak bir kavram olmuştur (Rekiek ve Delchambre, 2006: 31). Literatürde bulunan çalışmalarda teknikler ayrı ayrı kullanılabildiği gibi, bu paradigmaların çeşitli özelliklerinin birlikte kullanıldığı melez sistemler de mevcuttur.

Genetik programalama ilk olarak Cramer (1985) tarafından önerilse de Koza (1992) tarafından geliştirilerek popüler hale gelmiştir. Genetik programlama bireyleri ağaçlarla ifade eden bir genetik algoritmaya benzemektedir. Ancak kromozom gösterimi ve genetik operatörler açısından farklılık göstermektedir. Genetik programlama optimizasyon problemlerine başarıyla uygulanmakta olup son yıllarda üretim problemlerinin çözümü için de kullanılmaktadır (Özbakır ve Baykaşoğlu, 2011: 211).

Evrimsel stratejiler, Rechenberg (1973) tarafından Berlin Teknik Üniversitesinde yapılan çalışmalarla meydana gelmiştir. Başlangıçta evrimsel stratejiler sayısal fonksiyonlu optimizasyon metodu olarak ortaya koyulmuştur. İçsel parametrelerin ve mutasyon operatörünün yaklaşıma dahil edilmesiyle evrimsel stratejilerin problemleri çözme gücü artmıştır (Beyer ve Schwefel, 2002: 7).

Evrimsel programlama, Fogel (1966) tarafından geliştirilmiştir. Bazı görüşler evrimsel programlama ile evrimsel stratejileri çok benzer çalışmalar olarak nitelendirmiştir. Optimizasyon problemlerine uygulanmasıyla çalışmalarda meta-EP olarak adlandırılmaya başlanmıştır. Evrimsel programlama mutasyon operatörüne

dayanarak popülasyonun değişimini istemekte ve çaprazlama operatörünü kullanmamaktadır (Blickle, 1996: 41).

Genetik algoritmalar, Holland (1975) tarafından geliştirilmiştitr. Genetik algoritmalarla ilgili ayrıntılı bilgi bölüm içerisinde verilmektedir.

3.2. Genetik Algoritmaların Tanımı

Genetik Algoritmalar, evrim teorisinden esinlenerek geliştirilen stokastik bir arama tekniğidir. Meta-sezgisel teknikler arasında yer almaktadır (Tasan ve Tunalı, 2008: 52). Genetik Algoritmaların uygulanabilmesi için bit dizisi, başka bir deyişle veri sekansları olarak tanımlanmış canlılara ihtiyaç vardır. Çünkü bu canlılar, üreme neticesiyle kendilerinde olan bazı davranışları kalıtsal olarak bir sonraki nesle aktarmaktadır. Canlıların kalıtsal olarak aktardıkları yeteneklerine, dinçlik denmektedir. Böylece, dinçlik sayesinde yeni oluşan bireylerin ayrıcalıkları anlaşılmaktadır.

Genetik Algoritmalar, başlangıç uzayında rastgele seçilen noktalardan başlayarak en iyi çözümü arayan bir tekniktir. Genetik algoritma, diğer evrimsel algoritmalarda da olduğu gibi, arama uzayında bulunan çözümlerin bazılarının oluşturduğu bir başlangıç popülasyonu kullanmaktadır. Başlangıç popülasyonu her yeni nesilde, doğal seçme ve yeniden üreme işlemleri vasıtasıyla, ardışık bir şekilde geliştirilir. Son neslin en uygun bireyi, problem için optimal sonucu vermektedir (Karaboğa, 2011: 75).

Genetik algoritmalar; ulaştırma, gezgin satıcı, planlama, iş akış modelleri, kontrol ve taşıma problemleriyle ilgili optimizasyon çalışmalarına, başarılı bir şekilde uygulanabilmektedir (Michalewicz, 1999: 15).

3.3. Genetik Algoritmaların Ortaya Çıkış Süreci

Genetik Algoritma (GA) kavramı, ilk defa 1975 yılında yayınlanan Holland'ın "Adaptation in Natural and Artificial Systems" kitabında kullanılarak literatüre girmiştir (Reeves ve Rowe, 2003: 1). Her ne kadar kavram olarak, GA ilk defa Holland tarafından kullanılsa da, Bremermann'ın algoritmaları ve ikili kodlama tekniği 1958 yılında yayınladığı makale ile genetik algoritma çalışmalarına esin kaynağı olmuştur. Aynı zamanda Bremermann, evrimsel algoritmalara, matematiksel analiz yaklaşımını öneren ilk araştırmacıdır (Fogel ve Anderson, 2000: 1204). Holland araştırmalarını, arama ve optimumu bulma için, doğal seçme ve genetik evrimden yola çıkarak yapmıştır. İşlem boyunca, biyolojik sistemde bireyin bulunduğu çevreye uyum sağlayıp, daha uygun hale gelmesi örnek alınmış, optimum bulma ve makine öğrenme problemlerinde, bilgisayar yazılımları geliştirilmiştir (Goldberg, 1989).

Holland'ın ana amacı, adaptasyon olgusunu doğada meydana gelen şekliyle incelemek ve karmaşık problemleri çözmek için algoritmalar düzenlemek değil, doğal adaptasyon mekanizmalarını bilgisayar sistemlerine aktarabilen yollar geliştirmekti (Mitchell, 1999: 3).

Holland'ın doktora öğrencisi olan Goldberg de, "Gaz Boru Hatlarının Genetik Algoritma Kullanılarak Denetlenmesi" adlı tezi ile Genetik Algoritmaların gelişmesine ciddi katkıda bulunmuştur.

3.4. Genetik Algoritmalarla İlgili Temel Kavramlar

Genetik algoritmalarla ilgili çalışmalarda kullanılan temel kavramlar şöyledir:

Gen: Kromozom yapısı içinde, bir özelliğin belirlendiği, genetik kodlamaların oluşturduğu yapıya gen denir. Bu yapılar kısmi ya da tam bilgiyi tanımlayabilmektedir. Gen yapıları, Genetik Algoritmanın kullanıldığı bilgisayar sistemlerinde, programcının tanımlamalarına bağlıdır. Bir gen yapısındaki bilgi ikilik, onluk veya onaltılık tabandaki sayı değerlerini kapsayabilmektedir. Bu yüzden yazılımı gerçekleştirilen programa göre gen yapısı içindeki bilgi, önem arz etmektedir (Duman, 2007: 32).

Kromozom: Kromozom, organizmanın genomunun paketlenmiş halidir. Kromozomlarda bağımsız ya da birbiriyle ilişkili çalışan gen veya genler bulunmaktadır. Popülâsyon ise, kromozomların bir araya gelmesiyle oluşan gen havuzudur. Popülasyon içerisinde kromozom bireyi ifade ederken; gen, kromozomdaki bilgiye karşılık gelmektedir. Bir araya gelen bu bilgiler, problemin muhtemel çözüm kümesini oluşturduğundan, Genetik Algoritma yönteminin kullanıldığı bilgisayar programlarında iyi ifade edilmelidir. Kromozomun hangi kısmının ne tür özellikte karakter taşıyacağı, bu karakterlerin ne çeşit bilgi içereceği kullanıcının olaya bakışını değiştirir (Mccall, 2005: 207).

Popülasyon (Kütle, Yığın): Popülasyon, biyolojik olarak, aynı türün bireylerinin oluşturduğu topluluğa denir. Bu türler, genetik olarak aynı sayıda kromozom çiftine sahiptirler. Genetik Algoritmanın işleyişi esnasında popülasyon da kromozom anomalilikleri oluşabilir. Kromozom anomalilikleri, kromozomlarda sayısal ve yapısal değişiklik gösterebilir. Programlayıcı, tüm bunları göz önünde bulundurarak problemin özelliğine göre, popülasyon büyüklüğünü sabitleyebilir. Çünkü popülasyon büyüklüğü, problemin çözüm süresini etkilemektedir. Fazla sayıdaki kromozom, problemin çözüme ulaşma süresini uzatabileceği gibi, az sayıdaki kromozom da çözüm değerlerine ulaşılamama ya da sistem çözüm uzayının iyileşememesine sebep olabilir. Problemin özelliğine göre seçilecek olan popülasyon büyüklüğü, programcı tarafından iyi belirlenmelidir.

Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması: Genetik Algoritmayı diğer sezgisel arama metotlarından ayıran en önemli özellik, çözümü az sayıda örneklem barındıran değil, fazla sayıda örneklem barındıran popülasyon içinde aramasıdır. Bu sebeple, Genetik Algoritma yönteminin ilk adımı olan başlangıç popülasyonunun iyi bir şekilde oluşturulması gerekmektedir. (Toğan ve Daloğlu, 2008: 1205). Çünkü başlangıç popülasyonu, hem çalışma alanının sınırlarını oluşturur hem de ideal çalışma popülasyonunun gözlemlenebilirliğini sağlar. Başlangıç popülasyonu genel olarak rastsal bir şekilde oluşturulur. Fakat bu olay, kısıtlı en iyileme problemlerinde popülasyonun yanlış çözümlere doğru yönelmesine sebep olabilir. Bu durumu ortadan kaldırmak için, aranan kriterleri taşıyan başlangıç popülasyonları belirleme ve tespit yöntemleri probleme özgü çeşitli stokastik yöntemler geliştirilebilir.

Uygunluk Değeri: Uygunluk değeri, taşıdıkları gen yapıları bakımından kromozomların çözüm üzerinde gösterdikleri etkiye göre değerlendirilmesidir (Mccall, 2005: 207). Böylelikle bir sonraki jenerasyona hangi kromozomların taşınacağı, hangi kromozomların elimine edileceği, uygunluk değeri kıyaslaması sonrasında karar verilir. Uygunluk değeri, popülasyondaki kromozomların bir değerlendirme işlemi yardımıyla hesaplanır. Genetik Algoritma' da kullanılan değerlendirme işlevi, problemin amaç işlevini oluşturur (Fang, 1992: 54).

Yeniden Üretim İşlemi: En güçlü bireyin hayatta kalmasını öngören Darwin teorisini kaynak alan genetik algoritmalar, en uygun bireyi yeni nesle aktarır. Mevcut popülasyondan yeni nesle aktarılacak olan dizilerin seçilmesi işlemine, yeniden üretim işlemi denilmektedir (Mccall, 2005: 208).

Yeniden üretim işlemi, genetik algoritmaların en önemli operatörlerinden biridir. Bu süreçte arama prosesi ile daha uygun bireyler üretmeye çalışılmaktadır. Üreme prosesi üç aşamadan oluşmaktadır (Sivanandam ve Deepa, 2008: 46):

1) Ebeveynlerin seçimi,
2) Yeni bireylerin oluşumu için ebeveynlerin çaprazlanması,
3) Popülasyondaki eski bireylerin yenileriyle değiştirilmesi

3.5. Genetik Algoritmanın Yapısı

Genel olarak genetik algoritmalar parametrelerle değil, kodlanmış parametrelerin organizasyonu ile çalışmaktadır. Tam anlamıyla olmasa da genel hatlarıyla kromozomların kendi aralarındaki ve kromozomlarda bulunan genlerin organizasyon ilişkileri model alınarak tasarlanmıştır. Ortaya koyulan bu yaklaşım

genetik algoritma olarak adlandırılarak, alternatif çözüm kümeleri oluşturmayı amaçlamaktadır. Buradaki her çözüm dizi (sekans) olarak kodlanmıştır. Bu yöntem de dizi olarak düşünülen yapı, organizmada kromozoma; dizideki her bir eleman ise organizma tabanında gene tekabül etmektedir. Tıpkı organizmadaki gibi kromozomlar, taşıdıkları dizi ve kodlanma biçimlerine göre yapısal farklılıklar ortaya koyabilmektedir (Ajenblit ve Wainwright, 1998: 98).

```
Begin
t = 0;
P_t başlangıç yığınını oluştur;
P_t'yi değerlendir;
while not (bitiş koşulu) do
        begin
        t = t + 1;
        P_{t-1}'den P_t'yi seç; (Yeniden üretim operatörü)
        P_t'yi değerlendir; (Çaprazlama ve mutasyon operatörü)
        end
End
```

Kaynak: Michalewicz, 1999: 62

Şekil 3.1. Genetik Algoritmaların Genel Yapısı

Şekil 3.1'de görüldüğü üzere GA'nın ilk aşamasında, tüm olası çözümlerin alt kümesinden oluşan bir başlangıç popülasyonu oluşturulmaktadır. Popülasyonun her öğesi bir dizi olarak kodlanır. Her dizi biyolojik olarak bir kromozomu ifade etmektedir. Popülasyondaki her dizi uygunluk değerine sahiptir. Uygunluk değeri sayesinde hangi bireyin bir sonraki nesle taşınacağına karar verilmektedir. Problemin

yapısına göre dizinin uygunluk değerinin yüksek veya düşük değer alması istenebilir. GA'nın her yeniden üretim işleminde seçilim, çaprazlama ve mutasyon operatörleri işlev görmektedir (Karaoğlan ve Altıparmak, 2005: 445).

3.6. Kodlama

Kodlama her geni simgelerle ifade etme sürecidir. Bu süreç bitleri, sayıları, ağaçları, listeleri veya diğer sembolleri kullanarak gerçekleştirilmektedir. Genetik Algoritmanın problemi çözmedeki başarısı, kodlamanın doğru şekilde yapılmasına bağlıdır. Literatürde bulunan farklı kodlama türleri sıralanacak olursa (Sivanandam ve Deepa, 2008: 43):

3.6.1. İkili Kodlama

Genetik Algoritmalarda en yaygın şekilde kullanılan kodlama şeklidir. Her kromozom ikili bit dizisi olarak kodlanır. Dizideki her bit, çözüme ait karakteristik özellikler taşımaktadır. Bu yüzden her bit dizisi çözümdür, yalnız bu çözümün optimal çözüm olduğu söylenemez.

Kromozom 1	1 1 0 1 0 0 0 1 1 0 1 0
Kromozom 2	0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0

Şekil 3.2. İkili Kodlama

İkili kodlama, az sayıda allel ile çözüme yönelik çok sayıda kromozom üretebilir. Buna karşın ikili kodlama, bazı problemler için doğal değildir ve bazen operatörün işlemi bittikten sonra düzeltmelerin yapılması gerekmektedir.

3.6.2. Sekizli (Octal) Kodlama

Kromozom içerisindeki genlerin, 0-7 arasındaki rakamlar kullanılarak kodlanmasıdır.

Kromozom 1	0 3 4 6 7 2 1 6
Kromozom 2	1 5 7 2 3 3 1 4

Şekil 3.3. Sekizli Kodlama

3.6.3. Hekzadesimal Kodlama

Bu kodlama biçimi, kromozomu 0-9 ve A-F arasındaki hekzadesimal rakamları kullanarak kodlamaktadır.

Kromozom 1	9 C E 7
Kromozom 2	3 D B A

Şekil 3.4. Hekzadesimal Kodlama

3.6.4. Permütasyon Kodlama

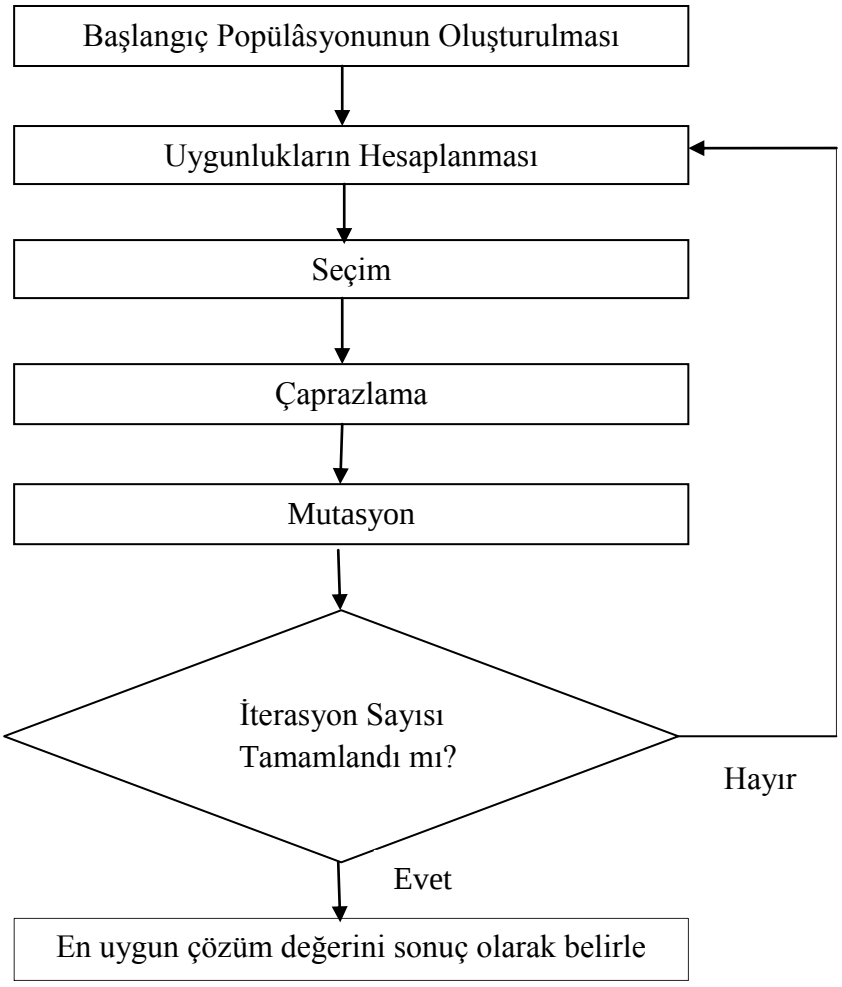
Permütasyon kodlamada kromozom, ardışık sayılar kullanılarak ifade edilmektedir. Permütasyon kodlamada her kromozom tamsayılı ve gerçek değerlerle tanımlanmaktadır.

Kromozom 1	1 5 3 2 6 4 7 9 8
Kromozom 2	8 5 6 7 2 3 1 4 9

Şekil 3.5. Permütasyon Kodlama

3.7. Genetik Algoritma Adımları

Genetik Algoritmaların uygulanmasında ilk adım başlangıç popülasyonunun oluşturulmasıdır. Uygunlukların hesaplanması aşamasından sonra sırasıyla; seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemleri gerçekleştirilir. Algoritma belirlenen iterasyon sayısına ulaşınca durur. Eğer belirlenen iterasyon sayısına ulaşılamamışsa, sıralı işlemler yenilenir. İterasyon sayısı tamamlandığında ise, geliştirilen çözüm uzayından en uygun çözüm sonuç olarak belirlenir.



Kaynak: Keskintürk ve Küçük, 2006: 55

Şekil 3.6. Genetik Algoritma Adımlarının Akış Diyagramıyla Gösterilmesi

3.7.1. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması

Genetik algoritmaların ilk adımı, başlangıç popülasyonun oluşturulmasıdır. Popülasyonun her öğesi, optimal çözüm olarak kodlanabilir. Bu öğelerin her biri kromozom olarak ifade edilir. Genetik algoritmaların başlangıç popülasyonunun iyi tanımlanmasıyla, optimal sonuçlara ulaşmadaki olasılığı artmaktadır (Diaz-Gomez ve Hougen, 2007). Başlangıç popülasyonu aynı zamanda, optimal çözüme ulaşmak için ara popülasyon üretir. Üretilen ara popülasyona yeniden üretim, çaprazlama ve mutasyon gibi genetik operatörler uygulanarak; uygunluk değeri daha yüksek, yeni nesil oluşturulmaya çalışır. Bu süreç belirlenmiş jenerasyon sayısına ulaşılıncaya kadar devam eder (Toğan ve Daloğlu, 2008: 1205).

3.7.2. Uygunlukların Hesaplanması

Uygunluk (Dinçlik) fonksiyonu, kromozomların çözüm uzayına yaklaşma yetenekleri hakkında bilgi vermesinden dolayı genetik algoritma için oldukça önemlidir (Keskintürk ve Küçük, 2006: 57). Optimal çözüme ulaşma yeteneğinin belirlenmesinde kullanılan teknik, genetik algoritmaların performansında önemli bir yere sahiptir. Problemin ilk adımlarında, amaç fonksiyonundan elde edilen ham sonuçlar yeterli olabilir. Fakat iterasyonlar arttıkça, iyi ile daha iyi ya da kötü ile daha kötü çözümler arasındaki farkı ayırt etmek zorlaşır. Bu da genetik algoritmanın çözüm uzayı geliştirmesini olumsuz etkiler. Bundan dolayı kalite değerlendirme biriminde, normalleştirme işlemine ihtiyaç duyulmaktadır. Genetik algoritmalar, normalleştirme fonksiyonuna karşı oldukça duyarlıdır. Çalışma bir yandan, optimal çözümlerin bulunduğu tarafa doğru yönelmeye çalışırken; diğer yandan, algoritmanın problemin bütününde optimizasyon işlemini gerçekleştirebilmesi için, çalışmaya

yeterli bir ıraksamanın sağlanmasına ihtiyaç vardır. Tersi durumda, erken yakınsama problemi oluşacak ve bu da tüm çözüm uzayının tamamen araştırılmasını engelleyecektir (Karaboğa, 2011: 77).

3.7.3. Seçim

Seçim, popülasyondan iki bireyin çaprazlama için seçilmesi sürecidir (Sivanandam ve Deepa, 2008: 46). Seçim operatörü, bir sonraki nesli oluştururken, kromozomların uygunluk(dinçlik) değerlerine bağlı olarak bu yapının içinde yer alıp almayacaklarına karar verir (Mccall, 2005: 208). Bu operatör, oluşturulacak yeni popülasyon içerisinde, uygunluğu yüksek bireylerin bulunması sağlanmaktadır (Goldberg, 1989: 11). Burada kullanılan modelle, evrim mekanizmalarından olan doğal seleksiyonda olduğu gibi, bireye hayatta kalma ve üreme şansı tanıyan Genetik Algoritma yaklaşımında da uygunluğu yüksek bireylerin, hayatta kalma şansı daha yüksek olmaktadır (Kamrani vd., 2002: 368). Kural olarak, yüksek uyum oranına sahip bireyler daha büyük bir olasılıkla seçilmelidir. Seçim operatörünün rolü, yüksek uyuma sahip bireylerin kalıtsal özelliklerinin sonraki kuşağa aktarılması olasılığını artırmasıdır. Böylece yapılacak seçim, arama uzayının başarılı olması beklenen bölgelerine odaklanır. Ardından sonraki nesil için, üreme işlemini gerçekleştirecek bireylerin popülasyondan nasıl seçileceği ve her bireyin kaç tane yavruya sahip olacağı belirlenmelidir. Bu işlemin ardından, üremeyi gerçekleştirecek bireyler ile üreme havuzu adı verilen bir ara popülasyon oluşturulur. Daha sonra, üreme için bu havuzdan rastgele şekilde bireyler seçilir.

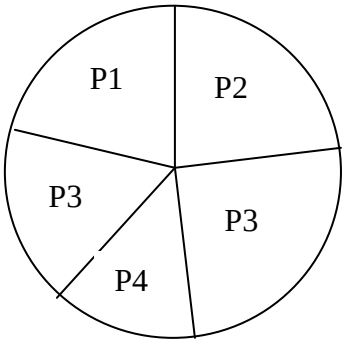
Seçimde iki önemli konu vardır: Popülâsyon çeşitliliği ve seçicilik baskısı. Bu faktörler birbirleriyle ilişkilidir. Seçicilik baskısındaki bir artış, popülâsyonun

çeşitliliğini azaltır. Bunun aksi de doğrudur. Yani güçlü seçicilik baskısı, Genetik Algoritmanın zamansız yakınsamasını destekler; zayıf seçici baskı ise aramanın etkinliğini azaltabilir. Bu sebeple bu iki faktör arasında bir denge oluşturulmalıdır. Örnekleme mekanizmaları, bu hedefi gerçekleştirmeye çalışır. Geliştirilmiş birçok seçim operatörü tipi mevcuttur (Keskintürk ve Küçük, 2006: 58).

3.7.3.1. Rulet Tekerleği Seçimi

Rulet tekerleği seçimi en sık kullanılan orantılı arama sürecidir. Rulet tekerliği seçim operatöründe, her kromozomun seçilme olasılığı uygunluk değeriyle orantılıdır.

f 1: 0.22
f 2: 0.24
f 3: 0.25
f 4: 0.11
f 5: 0.18



Şekil 3.7. Beş Öğeli Rulet Tekerleği

Şekil3.6.'da görüldüğü üzere P1 kromozomunun uygunluk değeri f1; P2 kromozomunun uygunluk değeri f2 olmak üzere kromozomların uygunluk değerleri rulet tekerleğinde ifade edilmiştir. Rulet tekerleğinin rastgele bir durma anında P3 kromozomunun gelme olasılığı en yüksek, P4 kromozomunun gelme olasılığı ise en düşüktür. Sonuç olarak yüksek uygunluk değerine sahip kromozomun seçilme olasılığı, düşük uygunluk değerine sahip kromozoma göre daha yüksektir (Bjarnadóttir, 2004: 24).

3.7.3.2. Sıralama (Rank) Seçimi

Rulet tekerleği seçim operatörünün, uygunluk değerleri arasındaki farkın, yüksek olduğu yapılarda uygulanması problemlere sebep olmaktadır. Çünkü en iyi kromozomun uygunluk değeri 0,9 ise rulet tekerleğinin %90 alanını kaplayacaktır ki, bu da diğer kromozomların seçilme olasılığını azaltmaktadır. Sıralama seçimi bu durumun yaşanmaması için kullanılan seçim yöntemlerinden biridir.

Sıralama seçiminde kromozomun seçilme olasılığı, popülasyon içerisindeki uygunluk değerinin yerine göre saptanır (Razali ve Geraghty, 2011b). Sıralama seçimi, kromozomları uygunluk değeri en büyükten başlayarak en küçüğe doğru sıralamaktadır. Böylece her bireyin seçilme olasılığı, sıralamadaki yerine göre belirlenmektedir (Sivanandam ve Deepa, 2008: 48).

3.7.3.3. Turnuva Seçimi

Turnuva seçimi, seçim baskısı açısından sıralama seçimine benzemektedir. Fakat sıralama seçimine göre hesaplaması daha etkilidir ve paralel uygulamalar için daha uygundur (Mitchell, 1999: 127). Operatör, (N_u) bireyler arasında turnuva gerçekleştirerek, eşleşme havuzunu doldurmaya çalışmaktadır. Genellikle iki birey arasında yapılan bu turnuva, ikiden fazla birey arasında da yapılabilmektedir. Eşleşme havuzu doluncaya kadar, operatör işleme devam etmektedir. Bu sayede eşleşme havuzu, uygunluk düzeyi yüksek bireylerle dolmaktadır. Kısaca, uygunluk düzeyleri arasında oluşan fark seçim baskısı yaratmakta, bu da genetik algoritmayı başarılı genlerin uygunluğunu arttırmaya zorlamaktadır (Sivanandam ve Deepa, 2008: 49).

3.7.4. Çaprazlama

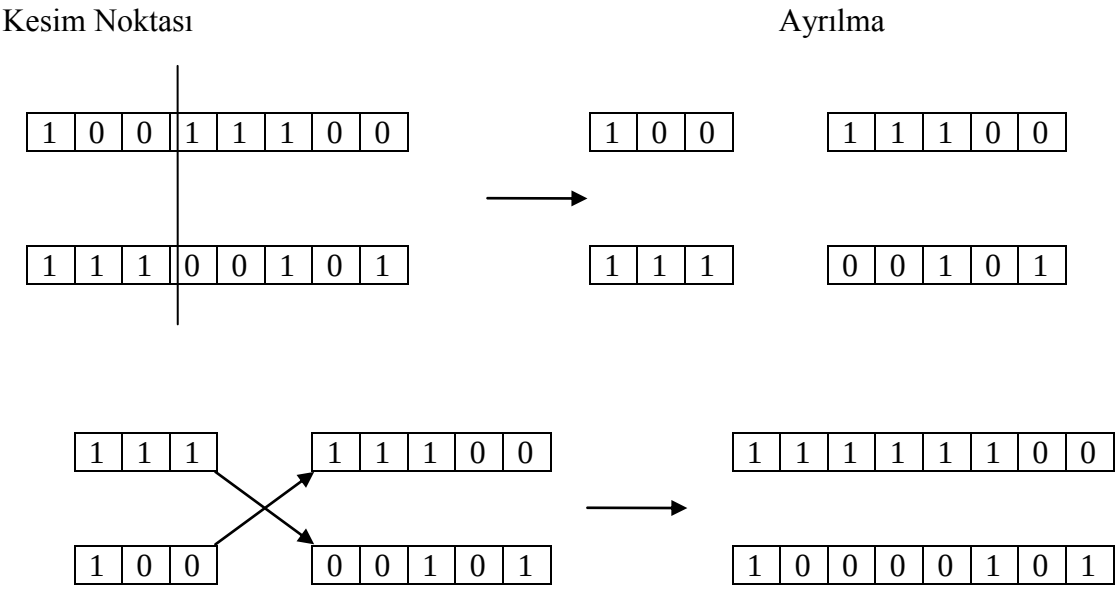
Çaprazlama, ebeveyn kromozomlarının belirlenen bölgelerinin karşılıklı değişimleri sonucu, genetik özellikleri farklı bir şekilde kombine edilmiş yavru kromozomların oluşturulma işlemidir (Michalewicz, 1992: 17). Çaprazlama operatörü, canlılar arasında tabii bir şekilde meydana gelen veya genetik çaprazlama yöntemi ile ortaya çıkması beklenen melez fenotiplerin üretilmesini hedef alan bir model yaklaşımı olarak, Genetik Algoritma içerisinde kullanılmaktadır. Çaprazlama operatörü, eşleştirme havuzunda bulunan yapılardan birer çifti rastgele seçmekte ve bu iki yapıdan yeni iki yapı meydana getirmektedir.

Ebeveynlerin sahip olduğu ve çaprazlama operatörünün uygulanmasıyla meydana gelen yeni iki yapı, mevcut jenerasyonda tutulur veya birbirleri arasında, yani eski ile yeni yapılar yer değiştirmek sureti ile farklı bir grup oluşturulur. İkinci durumda, kötü yapılar atılır ve popülâsyonun büyüklüğü sabit olarak korunur.

Çaprazlama operatörü basit bir biçimde açıklanacak olursa: Eski yapılar üzerinden rastgele bir yer seçilir ve buradan kesilir. Yapıların kuyrukları yeni iki yapı üretmek için birbirleri arasında yer değiştirir (Bielli vd., 2002: 22). Bu model canlılarda görülen çaprazlama metabolizmasında daha net anlaşılabilir. Bilindiği üzere ebeveyn kromozomlarının, homolog bölgelerinde bulunan genler aynı özellikleri taşırlar. Yeni bireylerin kromozomlarının oluşturulmasında kullanılan bu genlerin, bazılarını anneden bazılarını da babadan alarak ebeveyn genlerine sahip, fakat farklı bir kromozom konfigürasonyanla oluşmuş fenotipler meydana getirilir. Çaprazlama operatörünün amacı, iyi çözümlerden daha iyi çözümler üretmek için, yapıların elemanlarını birleştirmektir (Vrajitoru, 1998: 405-415).

3.7.4.1. Tek Noktalı Çaprazlama

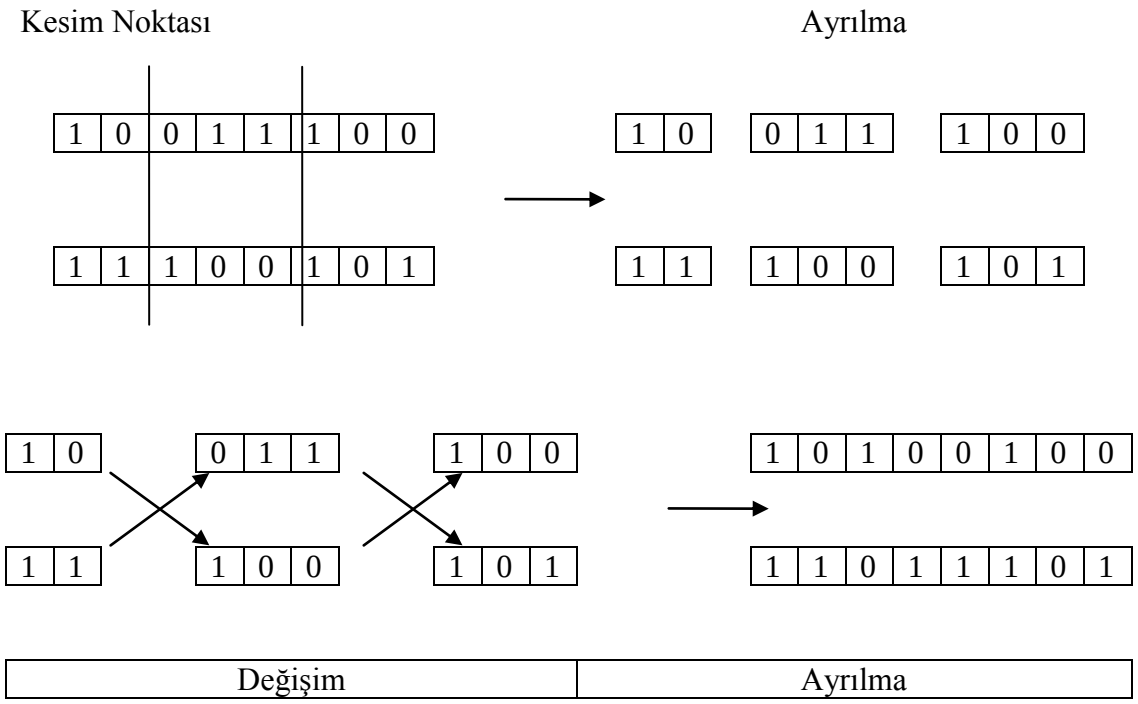
Tek noktalı çaprazlama işlemini gerçekleştirebilmek için, öncelikle üreme işlemi sonucu eşleşme havuzunda oluşmuş bit dizileri rastsal bir şekilde seçilmektedir. Bu işlemden sonra seçilen bit dizileri, yine rastsal bir şekilde seçilmiş kesim noktasından itibaren karşılıklı değiştirilmektedir. Bu değişim işlemi sonucunda yeni birey oluşmaktadır. Tek noktalı çaprazlama, biyolojik süreçlerden esinlenerek geliştirilmiştir (Man vd., 1996: 523).



Şekil 3.8. Tek noktalı çaprazlama

3.7.4.2. İki Noktalı Çaprazlama

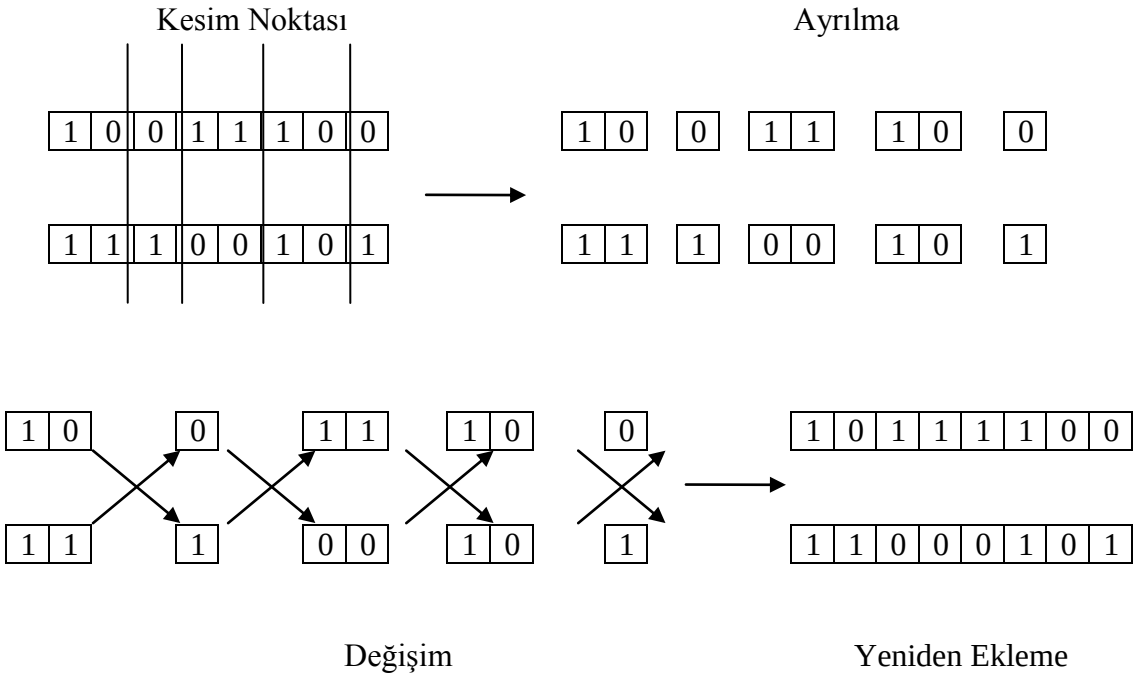
İki noktalı çaprazlama operatörünün çalışma prensibi, tek noktalı çaprazlama operatörüne benzemektedir. İki noktalı çaprazlamada yeni dizi rastsal şekilde seçilen iki kesim noktasının çapraz şekilde birleştirilmesiyle oluşturulur.



Şekil 3.9. İki noktalı çaprazlama

3.7.4.3. N Noktalı Çaprazlama (Uniform Çaprazlama)

N noktalı çaprazlama operatöründe ise n tane noktadan rastgele kesilen dizilerin birleştirilme işlemi gerçekleştirilmektedir. Birden fazla noktada kesilen diziler, çapraz bir şekilde ardışık sırayla birleştirilmektedir (Man vd., 1996: 523).



Şekil 3.10. N noktalı (Uniform) çaprazlama

3.7.5. Mutasyon

Lokal minimum noktalarda sıkışmayı önlemek için, popülasyon çeşitliliğini yüksek tutmak gerekmektedir. Bunu gerçekleştirebilmek için, genetik algoritmalar mutasyonu önermektedir. Mutasyon; bir kromozom içerisinde seçilmiş gen veya genlerin ters çevirme, ekleme, yer değiştirme ve karşılıklı değişim operatörlerini kullanarak, yeni birey oluşturma sürecidir (Razali ve Geraghty, 2011a: 108). Mutasyon operatörü, her ne kadar birinci derece olmasa da, popülasyonun güçlü bireyler oluşturması için hayati öneme sahiptir. Genetik Algoritma'da mutasyon operatörü bir dizi içinde meydana getireceği bir mutasyonla, diziye yeni bir biçim vererek, popülâsyonda yeni dizilerin elde edilmesini sağlar. Bu yeni elde edilen diziler de arama uzayının çözüm noktalarının değişmelerine olanak sağlar. İkili sayı tabanında kodlamanın kullanıldığı bir bit dizisinde, mutasyona uğrayan eleman 1 ise 0; 0 ise 1 olarak değiştirilerek yeni bir dizi elde edilir. Mutasyon, her bit dizisinde

belirlenmiş olasılık dâhilinde meydana gelebilir. Popülasyon içerisinde, mutasyon olasılığının küçük olması (0,001) istenmektedir (Mitchell, 1995: 35). Literatürdeki çalışmalarda en sık kullanılan mutasyon operatörleri ters çevirme, ekleme, yer değiştirme ve karşılıklı değişim mutasyonlarıdır.

3.7.5.1. Ters Çevirme Mutasyonu

Ters çevirme mutasyonu yeni, bir nesil oluşturmak için bir kromozomda rastgele iki gen seçer. Daha sonra bu alt bit dizisini Şekil 3.10.'da olduğu gibi iki ucu arasında ters çevirir. Bu sayede yeni bit dizisini oluşturur.

Anne -Baba	7	3	2	9	10	1	6	4	5	8
Yavru	7	3	1	10	9	2	6	4	5	8

Şekil 3.11. Ters Çevirme Mutasyonu

3.7.5.2. Ekleme Mutasyonu

Ekleme mutasyonu, kromozom içerisinde rastgele bir gen seçer ve onu rastgele bir yere yerleştirerek yeni diziyi oluşturur.

Anne -Baba	7	3	2	9	10	1	6	4	5	8
Yavru	7	3	4	2	9	10	1	6	5	8

Şekil 3.12. Ekleme Mutasyonu

3.7.5.3. Yer Değiştirme Mutasyonu

Yer değişikliği mutasyonu, kromozomda rastgele bir alt dizi seçer ve onu rastgele bir yere yerleştirerek yeni bir dizi oluşturur.

Anne -Baba	7	3	2	9	10	1	6	4	5	8
Yavru	7	3	6	4	5	2	9	10	1	8

Şekil 3.13. Yer Değiştirme Mutasyonu

3.7.5.4. Karşılıklı Değişim Mutasyonu

Karşılıklı değişim mutasyonu, kromozomdan rastgele iki gen seçer ve yerlerini değiştirir.

Anne -Baba	7	3	2	9	10	1	6	4	5	8
Yavru	7	3	5	2	9	10	1	4	2	8

Şekil 3.14. Karşılıklı Değişim Mutasyonu

3.8. Genetik Algoritmaların Avantajları ve Dezavantajları

Genetik Algoritmaların, diğer sezgisel yöntemlere göre bazı üstünlükleri ve sınırlılıkları vardır. Genetik algoritma yönteminde ağır matematiksel işlemler kullanılmaz. Amaç fonksiyonunun yazılması yeterlidir (Hicks, 2006: 600). Kesikli veya sürekli değişkenlerle optimizasyon yapılabilir. Sadece mutlak en iyi çözümü değil, en iyi çözümlerin listesini verebilir. Çok fazla sayıda değişkenle optimizasyon işlemi yapılabilir (Şen, 2004:63).

Genetik Algoritmaların bazı avantajları sıralanacak olursa:

1) Arama uzayının farklı noktalarından başlayarak paralel çalışması,
2) Ulaşılan çözüm uzayının genişliği,
3) Birden fazla amaç içeren problemlerin çözülebilmesi,

4) Sadece evrim fonksiyonunu kullanması,
5) Farklı tipteki problemlere kolaylıkla uygulanabilirliği,
6) Büyük hacimli problemlere kısa sürede, global optimum noktasını göstermesidir (Sivanandam ve Deepa, 2008: 35).

Buna karşın düzgün hedef fonksiyonları ve birkaç değişkenin bulunması durumunda, hızlı ve basit çözümlere ulaşmak için, matematiksel işlemler kullanan klasik optimizasyon yöntemleri kullanılmalıdır. Genetik algoritmanın sınırlılıkları ve dezavantajları şöyle sıralanabilir:

1) Uygunluk fonksiyonu tanımlama problemi,
2) Zamanından önce yakınsama olasılığının bulunması,
3) Popülâsyon büyüklüğü, mutasyon ve çaprazlama oranları, seçim metotu gibi çeşitli değişkenlerin belirlenmesinin zorluğu,
4) Lokal optimum noktaların belirlenmesinin zorluğu,
5) Kesin, global optimum noktanın bulunamamasıdır (Sivanandam ve Deepa, 2008: 35).

3.9. Genetik Algoritmalarda Parametre Seçimi

Genetik algoritma uygulamalarında, optimal çözüme ulaşabilmek için, parametrelerin doğru bir şekilde tanımlanmış olması gerekmektedir. Parametreler, genetik algoritmaların çözüme ulaşmasına önemli katkılarda bulunmaktadır. Kontrol parametreleri de denilen bu parametreler, popülasyon büyüklüğü, çaprazlama ve mutasyon olasılığı, kuşak aralığı, seçim operatörü ve fonksiyon ölçeklemesini kapsamaktadır. Bu parametrelerin hepsinin aynı anda optimize edilmesi mümkün

değildir. Çünkü bu parametreler arasında doğrusal olmayan bir ilişki mevcuttur (Mitchell, 1999: 131).

3.9.1. Popülâsyon Büyüklüğü

Parametre seçimindeki en önemli kararlardan birisi, popülasyon büyüklüğünün doğru bir şekilde belirlenmesidir. Bu değer küçük seçildiğinde, algoritma lokal optimuma takılabilir. Değer büyük seçildiğinde ise optimum çözüme ulaşma zamanı artmaktadır (Emel ve Taşkın, 2002: 135).

3.9.2. Çaprazlama Olasılığı

Çaprazlama operatörü, temel parametre olarak, çaprazlama olasılığını (P_c) kabul etmektedir. Çaprazlama olasılığı, çaprazlamanın hangi oranda yapılacağını göstermektedir. Çaprazlamanın olmadığı düşünülürse; çocuk, ebeveynlerinin kopyası olur. Ancak, bu çocuğun tamamıyla ebeveynin aynısı olduğu anlamına gelmez. Çaprazlama sayesinde çocuk ebeveynlerinin güçlü, iyi genlerini alır (Sivanandam ve Deepa, 2008: 56).

3.9.3. Mutasyon Olasılığı

Mutasyon operatörü sayesinde, popülasyondaki genetik çeşitlilik korunmaktadır. Mutasyon olasılığı P_m ile ifade edilmektedir. P_m olasılığı ile popülasyon içerisindeki her kromozomda mutasyon meydana gelebilir. Çalışmanın optimum çözüm uzayına ulaşması için, popülasyon büyüklüğüne göre mutasyon olasılığına iyi bir şekilde karar verilmelidir. Çünkü, mutasyon olasılığının artmasıyla,

genetik arama rastsal bir aramaya dönüşür ve optimal sonuca ulaşamayabilir (Emel ve Taşkın, 2002: 136).

Literatürde bulunan çalışmalarda büyük popülasyonlar için, ($\mu > 200$) mutasyon olasılığı $P_m > 0.05$ olarak belirlendiğinde; benzer şekilde küçük popülasyonlar için ($\mu < 20$) mutasyon olasılığı $P_m < 0.002$ olarak hesaplandığında, optimal sonuca ulaşma performansının arttığı gözlemlenmiştir. Orta büyüklükteki bir popülasyon için ise $P_m = 0.001$ uygun bir mutasyon olasılığıdır (Bäck, 1996: 123).

3.9.4. Kuşak Aralığı

Her jenerasyondaki yeni kromozom oranına, kuşak aralığı adı verilir. Yüksek kuşak aralığı, çok sayıda kromozomun değiştiğini ifade etmektedir(Mitchell, 1999: 128, Emel ve Taşkın, 2002: 136).

3.9.5. Seçim Stratejisi

Eski jenerasyonu yenilemek için, çeşitli seçim stratejileri kullanılmaktadır. En önemli seçim stratejileri kuşaksal ve elitist stratejidir. Kuşaksal strateji, popülasyon içerisindeki kromozomların hepsinin, yavrularla yer değiştirmesini önermektedir. Fakat bu stratejide popülasyonun uygunluk değeri, en yüksek bireyi de yavrularla yer değiştirdiği için bir sonraki nesle aktarılamamaktadır. Kuşaksal strateji, iyi niteliklerin bir sonraki nesle aktarılması için, elitist stratejiyle beraber kullanılmaktadır. Çünkü elitist strateji, popülasyonun en iyi kromozomunu asla değiştirmemektedir (Emel ve Taşkın, 2002:136).

3.9.6. Fonksiyon Ölçeklemesi

Fonksiyon ölçeklemesi içerisinde, doğrusal ölçekleme ve üstsel ölçekleme gibi yöntemler mevcuttur. Probleme göre en uygun ölçekleme yönteminin seçilmesi, genetik algoritmanın etkin işlemesi açısından önem taşımaktadır (Emel ve Taşkın, 2002: 136).

3.10. Genetik Algoritmaların Uygulama Alanları

Farklı problem tiplerine uygulanabilen genetik algoritmalar, karmaşık problemleri hızlı ve optimale yakın bir şekilde çözebilmektedir (Taşkın ve Emel, 2009: 87). Farklı en iyileme yöntemlerinin, büyük çözüm uzayına sahip problemlere uygulanması çok zaman alabilir. Bu tip problemlere genetik algoritmalarla, kısa süre içerisinde optimal çözümler bulunabilir (Gonzales, 2000: 683).

Genetik algoritmalar, özellikle çözüm uzayının geniş, süreksiz ve karmaşık olduğu problem tiplerinde başarılı sonuçlar vermektedir. Genetik algoritmaların uygulama alanları; genel uygulama alanları ve işletmelerdeki yaygın uygulama alanları olmak üzere şöyle sıralanabilir (Sivananadam ve Deepa, 2008: 35):

- Birleşik optimizasyon problemleri, gezgin satıcı problemi, araç rotalama problemi, Çinli postacı problemi, iş atölyesi çizelgeleme problemi, atama problemi, yerleşim tasarımı problemi ve sırt çantası gibi problem uygulamaları,
- Network tasarımı,
- Nonlinear dinamik sistem tahmini, veri analizleri,
- Robot yörüngesi planlama,

- Görüntü işleme,
- İmalat planlama, yerleşim planlama ve kaynak ataması,
- Mekanik öğrenme,
- Sinyal işleme,
- Portföy optimizasyonu,
- Taşıma problemi,
- Montaj hattı dengeleme problemleri.

Genetik Algoritmalar işletmelerin üretim birimleri başta olmak üzere finans ve pazarlama gibi önemli bölümlerin farklı iş problemlerinin çözümünde kullanılabilmektedir. Literatürde kaynak tahsisi, iş atölye çizelgelemesi ve makine parça gruplaması problemlerinin genetik algoritma uygulamaları mevcuttur (Emel ve Taşkın, 2002: 141)

4. TEMSA GLOBAL A.Ş. ADANA FABRİKASINDA BİR UYGULAMA

Literatürde çift taraflı montaj hattı dengeleme problemleri ile ilgili veri setleri bulunmaktadır. Ancak bu verilerin gerçek hatlara uygunluğu bilinmediğinden uygulama için çift taraflı montaj hattı kullanan bir işletme seçilmiştir. Türkiye'de çift taraflı montaj hattını kullanan az sayıda işletme vardır. Çift taraflı montaj hattı kullanımının en sık kullanıldığı otobüs ve kamyon fabrikaları değerlendirilerek çalışmada kullanılan veriler Temsa Global A.Ş. Adana Fabrikasında yerinde incelenerek elde edilmiştir.

4.1. Temsa Global A.Ş. Hakkında Bilgi

Temsa Global A. Ş. 1968 yılında kurulmuştur. 1984 yılında ise otomotiv sektöründeki faaliyetlerine başlamıştır. 555.000 m^2 alana sahip Adana'daki tesislerinde 1987 yılından beri otobüs ve midibüs üretimini sürdürmektedir. Temsa Global Adana Üretim Tesisleri, yılda tek vardiyada 3.000 adet otobüs ve midibüs üretme kapasitesine sahiptir. Diamond, Safir şehirlerarası yolcu otobüsü, küçük otobüs Powerbus, Metropol S, Prestij midibüs, şehir içi toplu taşımacılık için Avenue (12m), Metropol City (9m) ve Prestij City (7m) modellerini Türkiye pazarı için üretmektedir. Avrupa pazarına yönelik ise, değişik motor seçenekleri ve yürüyen aksam kullanarak, esnek üretim anlayışı doğrultusunda, özgün tasarımıyla kendi geliştirdiği Diamond, Safari, Tourmalin ve Opalin modeli otobüs ve midibüs üretimi gerçekleştirmektedir.



Şekil 4.1. Temsa Global A.Ş. Üretim Tesisi

Temsa Global, 1987 yılında Adana'daki tesislerinde başladığı üretim faaliyetlerini, 2008 yılında biri Kahire, Mısır diğeri Adapazarı'nda olmak üzere iki yeni fabrika ile güçlendirmiş olarak sürdürmektedir. Temsa Global'in 555.000 m²'lik alana kurulu Adana Üretim Tesisleri'nde Türkiye pazarına yönelik olarak Diamond ve Safir şehirlerarası yolcu otobüsleri ile küçük otobüs Powerbus, Metropol ve Prestij midibüs üretimi gerçekleştirilmektedir. Temsa Global A.Ş.'nin 2010 yılı sonu itibariyle 1452 çalışanı mevcuttur.

4.2. Temsa Global A.Ş. Adana Fabrikası Çift Taraflı Montaj Hattı

Temsa Global Adana Fabrikasında otobüs ve midibüs için ayrı montaj hatları kullanılmaktadır. Otobüs gibi büyük boyutlu ürünlerin üretiminde kullanılan çift taraflı montaj hatları Temsa Global tarafından da kullanılmaktadır.



Şekil 4.2. Temsa Adana Fabrikası Çift Taraflı Montaj Hattı

Temsa otobüs ve midibüs hattını ayrı ayrı kullanmaktadır. Şekil 4.2'de görüldüğü üzere hatta sadece Safir modeli üretilmektedir. Otobüs ve midibüs üretiminde 140'a yakın tedarikçiden malzeme alımın yapan Temsa, alınan parçaların birleştirilmesi için çift taraflı montaj hattını kullanmaktadır. Otobüs üretim faaliyeti ilk olarak iskelet bölümünde başlamaktadır. Gövde tamamlama, boyahane ve trim hatları boyunca devam eden üretim faaliyeti üretim tamamlama bölümüyle sona ermektedir. Uygulama için sağ ve sol taraf operasyon sayılarının orantılı olması nedeniyle çalışmada gövde tamamlama istasyonları seçilmiştir. Tourmalin modeli, üretilen modeller arasında gövde tamamlama istasyonlarındaki operasyonların azlığı nedeniyle tercih edilmiştir.

4.3. Tourmalin Modeline ait Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme Probleminin Tanımlanması

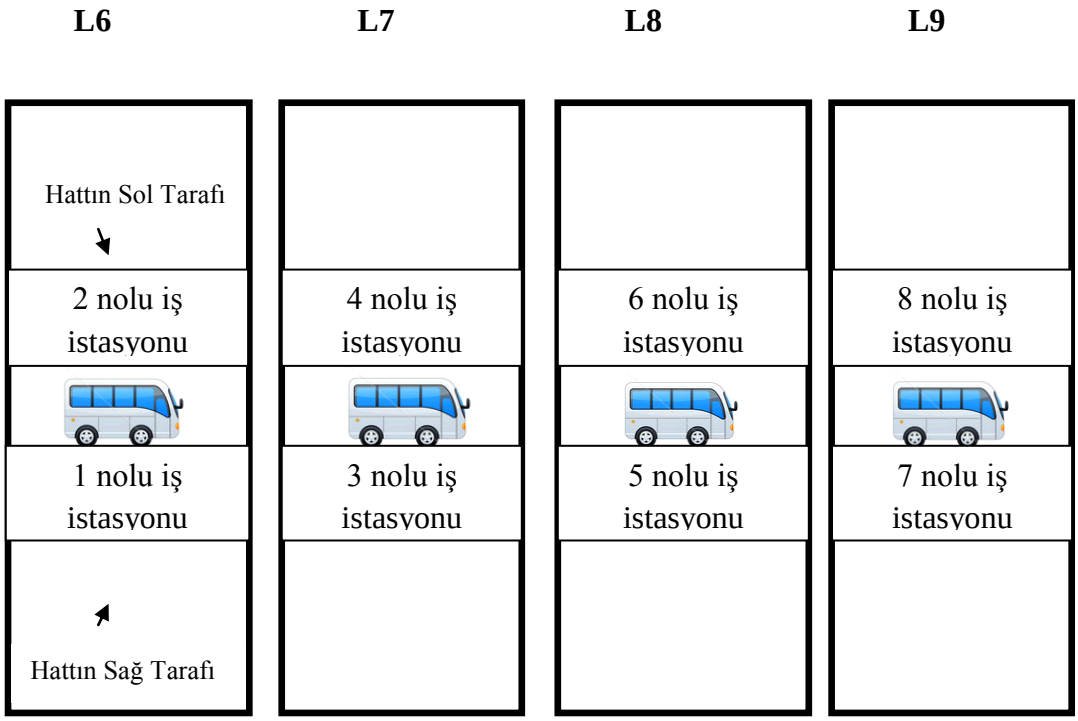
Tourmalin, Temsa Global A.Ş.'nin yurtdışı şehir içi taşımacılık pazarına yönelik ürettiği otobüs tipi üründür. Sağ ve sol işlemlerin fazlalığı nedeniyle çalışmada kullanılan veriler Tourmalin modelinin Gövde Tamamlama hattından alınmıştır. Çalışmanın amacı Tourmalin modelinin üretimi için kullanılan Gövde Tamamlama L6, L7, L8 ve L9 istasyonlarının en verimli şekilde kullanılmasını sağlamaktır. Mevcut hattın sağ ve sol taraflarında gerçekleştirilen işlemler optimum şekilde atanmadığından iş istasyonları içerisinde kullanılmayan işçilik süreleri yani atıl süreler oluşmaktadır.

Fabrika, günlük üretim hızını 1, 2 ve 4 otobüs olarak revize edebilmektedir. Fabrikanın günlük brüt çalışma süresi 9 saattir. Verilerin alındığı dönem içerisinde fabrika 2 hızıyla üretim yaptığından bu çalışmada istenilen ürün miktarı 2 olarak alınmaktadır. Molaların brüt çalışma saatinden çıkartılmasıyla net çalışma süresi 8,67 saattir.

$$C = \frac{T}{N}$$

Formülünden hareketle hattın çevrim süresi 8,67 / 2=4,33 saat, 260 dk olarak belirlenmiştir. Mevcut hattın sağ ve sol tarafına operasyonlareın dağılımı eşit şekilde gerçekleşmediğinden işlemci sayısı eş istasyonlarda farklılık göstermektedir. Bu eşitsizliğin en önemli nedeni ise otobüsün ön, orta ve arka kapılarının otobüsün sağ tarafında olmasıdır. Böylece alınan 4 eş istasyonun sağ tarafındaki işlem sürelerinin toplamı hattın sol tarafındaki işlem sürelerinin toplamından fazladır. Hattın sağ ve

sol tarafındaki birbiriyle öncelik ilişkisi bulunan işlemler gruplandırılarak 20 iş grubu oluşturulmuş optimizasyon çalışması bu iş grupları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İş grupları sayesinde programa çok sayıda öncelik ilişkisi tanımlanmamış öncelik ilişkileri iş grupları arasında oluşturulmuştur.



Şekil 4.3. Tourmalin L6-L9 Eş İstasyonlarının Gösterimi

L6-L9 arası iş istasyonlarının çift taraflı montaj hattında dizilimi Şekil 4.3'de gösterilmiştir. Sağ taraf istasyonları şekilde görüldüğü üzere 1, 3, 5 ve 7 nolu parça iş istasyonlarıdır. 2, 4, 6 ve 8 nolu parça iş istasyonları ise L6, L7,L8 ve L9 eş istasyonlarının sol tarafına yerleştirilmiştir. Eş istasyonlar boyunca çevrim süresine uymak kaydıyla hattın sağında ve solunda otobüs işlem görerek L9'dan ayrılarak boyahaneye girmektedir.

Operasyon süreleri deterministik olan mevcut hatta L6 istasyonunun sağ ve sol tarafında 2'şer kişi, L7 istasyonunun sağ tarafında 2 sol tarafında 1 kişi, L8

istasyonunun sağ sol tarafında 2'şer kişi ve L9 hattının sağ tarafında 1 kişi olmak üzere toplam 12 kişi çalışmaktadır.

Tablo 4.1. Mevcut Hattaki Operasyonların Gerçekleştiği Parça İstasyonlar ve İstasyonların Toplam Süreleri

Eş İstasyon	**İstasyonlar No**	**İstasyona Atanan Operasyonlar**	**İşlemlerin Toplam Süresi (dk.)**	**Kayıp Süre (dk.)**
L6	1	1,2,3,4,5,6,7,8	452	68
L6	2	9,10,11,12,13	277	243
L7	3	14,15,16,17,18,19,20,21	430	90
L7	4	22,23,24,25	126	134
L8	5	26,27,35,37,38,39,40,41,42,43,45	508	12
L8	6	28,29,30,31,32,33,34,36,44	501	19
L9	7	46,47,48	162	98
L9	8	---------	0	0
Toplam			2456	664

Tablo 4.1'de mevcut hattın L6-L9 eş istasyonlarında bulunan 48 operasyonun hangi parça istasyonunda işlem gördüğü ve parça istasyonların toplam süreleri gösterilmiştir. 2, 4, 6 ve 8 sol taraf istasyonları iken 1, 3, 5 ve 7 nolu istasyonlar ise sağ taraf istasyonlarıdır.

Çalışmada mevcut hat 8 parça istasyondan oluşan 4 eş istasyon olarak tanımlanmaktadır. Kayıp süreler ise çevrim süresi ile hattaki işlemlerin toplam süresi arasındaki farktır. İstasyon içerisindeki kayıp süreler kullanılmayan, ürüne ait bir işlemde harcanmayan süredir. Mevcut hattaki 4 eş istasyon içindeki kayıp süre 664

dakikadır. Çift taraflı montaj hattında oluşan kayıp süreleri azaltmak için çalışmada 62 operasyon birbirleriyle ilişkileri dikkate alınarak gruplandırılmıştır. Bu işlem sonucu 20 iş gruplu veri seti oluşturulmuştur. Daha sonra iş grupları arasındaki öncelik ilişkileri belirlenerek genetik algoritma süreci uygulanmıştır.

Tablo 4.2. Oluşturulan İş Grupları ve İş gruplarının Toplam Süreleri

İş Grupları	**İş Grubuna Atanan Operasyonlar**	**İşlemlerin Toplam Süresi (dk.)**	**İşlem Gördükleri Taraf**
1	1,2,14,15	217	Sağ
2	16,17,18	150	Sağ
3	3	59	Sağ
4	4,5	124	Sağ
5	6,7	130	Sağ
6	8,19,20,21,26,27	223	Sağ
7	28,29,30	186	Sol
8	31,32,33,34	205	Sol
9	35,37	79	Sağ
10	22,23,36	130	Sol
11	24,25,38,39	132	Sol
12	9,10,11	300	Sol
13	12	124	Sol
14	13	74	Sol
15	40,41,42	189	Sol
16	43	72	Sağ
17	44	65	Sol
18	45,47	84	Sağ
19	46	62	Sağ
20	48	72	Sağ

Tablo 4.2.'de iş gruplandırması sonrası operasyonlar kodlama için uygun hale getirilmiştir. Yan kısıtlardan olan aynı istasyon tarafından yapılması gereken işler kısıtına uygun olarak yapılan gruplandırma sonrası hattaki işlemlerin öncelik ilişkileri belirlenmiştir.

Tourmalin L6-L9 eş istasyonları verileriyle çalışılan bu çalışmada her iki tarafta yapılabilen operasyonların azlığı çalışmanın daha kısa sürede optimum sonuçlara ulaşmasını sağlamıştır.

4.4. Genetik Algoritma Adımlarının Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme Problemine Uygulanması

Çift taraflı montaj hattı dengeleme problemleri için geliştirilen programın genetik algoritma adımlarını kodlama, başlangıç popülasyonun oluşturulması, uygunluk değerlerinin ölçülmesi ve yeni popülasyon oluşturma süreci oluşturmaktadır.

4.4.1. Kromozomların Kodlanması ve Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması

Genetik Algoritma programının yazılması işleminde karşılaşılan ilk problemlerden biri kromozomların kodlanmasıdır. Kodlama işlemi problemin türüne göre değişmektedir. Bazen ikili kodlama en iyi çözüm bulmada kullanılırken, bazen de permutasyon veya değer kodlama yöntemleri optimum sonucu bulmada en uygun kodlama yöntemi olarak kullanılmaktadır (Kaya, 2006: 9). Çalışmada kullanılan permütasyon kodlama yöntemi, genel olarak gezgin satıcı ve şebeke tasarımları gibi sıra gözeten problemlerde yaygınca kullanılmaktadır.

Kromozom	A	3 5 1 2 7 6 0 4
Kromozom	B	0 1 5 6 2 3 4 7

Şekil 4.4. Permütasyon Kodlama için Kromozom Örneği

Ayrıca problemin optimal çözümüne ulaşabilmek için doğru populasyon büyüklüğüne karar verilmelidir. Populasyon büyüklüğünün aşırı yüksek seçilmesi gelişimi yavaşlatırken, aşırı küçük seçilmesi de araştırma uzayında yetersiz arama yapacaktır. Bu faktörler göz önüne alınarak bu çalışmada üzerinde durulan probleme en uygun populasyon büyüklüğü 30 birey olarak seçilmiştir. Programın arayüzünde birey sayısı değiştirilebilmektedir. Problemde permutasyon kodlama yöntemi seçilip, çift taraflı montaj hattının sağ ve sol tarafındaki operasyon sayıları farklı olduğundan, hattın sol tarafı 8 operasyon dolayısıyla 8 gen ile, hattın sağ tarafı 12 operasyon yani 12 gen ile temsil edilmiştir.

10 12 11 7 8 13 14 17

Şekil 4.5. ÇMHDP'nin Sol Taraf Operasyonlarının Permütasyon Kodlaması

Her gendeki sayı değeri operasyon numarasına eşittir. Örnek olarak hattın sol tarafındaki 8 nolu kromozomun genleri Şekil 4.5.'de permütasyon kodlama ile gösterilmiştir.

Başlangıç popülasyonu oluşturulurken tüm bireylerin genleri rastgele oluşturulmuştur. Problemde ilk toplumu oluşturan fonksiyon sadece ilk nesilde çalışır. Diğer nesillerde eski ve yeni nesil değişimi gerçekleştiğinden bu fonksiyon

kullanılmamaktadır. Fonksiyon, birey sayısı kadar dönen döngüde her birey için gerekli gen sayısı kadar rastgele sayı üretir. Permutasyon kodlama ile yapılırken aynı gen değerine sahip bireylerin oluşması engellenmiştir.

4.4.2. Popülasyondaki Her Kromozomun Uygunluk Değerinin Ölçülmesi

Popülasyon içerisindeki bireyleri temsil eden kromozomların çözüme ulaşma başarısını gösteren değere uygunluk fonksiyonu denir. Bu Genetik Algoritma programında özel çalışan tek kısımdır. Uygunluk fonksiyonu kromozomların şifrelerini çözer ve sonra da kromozomların çözüme yaklaşma başarısını uygunluk değerlerini hesaplayarak ortaya koymaktadır. Elde edilen uygunluk değerlerine göre kromozomların yeni jenerasyonda yer alıp almayacaklarına karar verilir. Bütün popülasyonun uygunluk değerleri belirlendiğinde sonlandırma kriterinin sağlanıp sağlanmadığına bakılır. Sonlandırma kriteri iki şekilde seçilebilmektedir. Bu seçeneklerden biri, istenilen nesil sayısına ulaşılması halinde aramanın sona ermesidir. İkincisi ise uygunluk değerinin en iyi çözümün uyumluluk değerine oranının yeterli görülen bir değere ulaşmasıdır.

Uygunluk değerleri şu şekilde hesaplanmaktadır: İlk olarak iş grupları genlerle ifade edilerek parça istasyonlara gen grupları olarak atanmaktadır. Daha sonra gen grupları çevrim süresi (260 dk.) kısıtı altında işlemlerden geçirilir, parça istasyonlarda kayıp zaman bulunarak uygunluk değerleri hesaplanır. Buradaki gruplama için şart belli bir eşik değere göre yapılır. Eşik değeri sağlayan operasyonlar yani genler aynı grupta yer alarak o istasyona atanır. İşçinin çalışma süresi ile işlemler şunlardır. Eşik değeri sağlayan gen grubunun tüm süreleri toplanır. Bu toplam değer işçinin çalışma süresine göre modu alınır. Alınan mod ile elde

edilen değer kalan değeridir. Toplam değer yine işçinin çalışma süresine göre normal bölme işleminden geçirilir. İşlem sonucunda elde edilen değer bölüm değerdir. Uygunluk değeri için ilk olarak işçinin çalışma süresi ile elde edilen kalan değer çıkartılır. Bu değer, elde edilen bölüm süresinin bir fazlası ile çarpılarak uygunluk değeri hesaplanır. İşlemlerde şu ayrıntı önemlidir. Eşik değeri geçememe ihtimali olursa tüm operasyonlar tek istasyonda toplanır. Bu istenmeyen durum için kayıp zaman, tüm operasyonların toplamı ile elde edilir. Böylece problemde bu adımda tekli gruplamanın uygunluk değeri yüksek olduğundan elenme ihtimali çok yükselmektedir. Uygunluk fonksiyonunda eşik değer istenilirse her iki hattın tarafı için ayrı değerlere sahip olabilir. Fonksiyon sonrasında tüm bireylerin uygunluk değerleri bir dizide toplanır. Diziler birbirleriyle indeksleri sayesinde anlaşırlar.

4.4.3. Yeni Popülasyon Oluşturma Süresi

Yeni popülasyon oluşturma sürecinde popülasyon elitizm, çaprazlama ve mutasyon operatörleri kullanılarak geliştirilmektedir.

4.4.3.1. Elitizm

Elitizm, çözüme yaklaşma başarısı, performansı en iyi bireyle temsil edilen o ana kadar ki en iyi çözümün korunarak, değiştirilmeksizin bir sonraki nesle aktarılmasını sağlamaktadır. Popülasyondaki tüm bireylerin çaprazlanarak oluşturulması halinde, iyi olan bireylerin yok olma veya çözümden uzaklaşma ihtimali ortaya çıkmaktadır. Bu durumu ortadan kaldırmak için çalışmada toplum içindeki en iyi 2 tane birey doğrudan yeni topluma eklenerek elitizm gerçekleştirilmiştir. Elitizm yapıldığı fonksiyonda en iyi uygunluk değerine sahip bireylerin seçilmesi dışında tüm bireyler uygunluk değerlerine göre sıralanmıştır.

Böylece çaprazlama için seçilen bireylerin kıyaslama işlemleri daha kolay gerçekleştirilmiştir.

4.4.3.2. Seçilim ve Çaprazlama

Literatürde bulunan çalışmalarda en iyi kromozomları seçmek için birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu seçim yöntemlerinden bazıları; Rulet tekerleği seçimi, Boltzman seçimi, turnuva seçimi, sıralama seçimi ve sabit durum seçimidir. Çalışmada seçim operatörü olarak ikili turnuva seçimi kullanılmıştır. İkili turnuva seçiminde populasyon içinden rastgele iki birey seçilmekte ve bu bireylerden uygunluklarına göre iyi olan alınmaktadır. Daha sonra tekrar rastgele iki birey seçilmekte ve yine uygunluklarına göre en iyi olan alınmaktadır. Böylece finale kalan iki tane birey çaprazlama işlemine tabi tutulmaktadır.

Genel olarak çaprazlama işlemi; GA sürecinin ilk adımı olan kodlamanın nasıl yapılacağı belirlendikten sonra popülasyondaki kromozomlardan uygunluk değeri yüksek olanlar içerisinden rastsal şekilde seçilen iki birey arasında, yine rastsal seçilen bir noktaya göre karşılıklı gen alış-verişi olarak tanımlanmaktadır. Çaprazlama işlemi, uygunluk değeri iyi olan ve rasgele seçilen iki kromozomdan daha iyi uygunluk değerine sahip bireyler arasında, yeni kromozomların elde edilmesi amacıyla yapılmaktadır. Yeni neslin uygunluk değerlerinin iyi çıkması ve problemin optimum çözüme ulaşabilmesi açısından çaprazlama işlemi son derece önem taşımaktadır. Bu aşamada, farklı kromozomlar alınarak çaprazlama işlemi yapıldığı için değişik özelliklerin test edilmesine ve hızlı olarak yeniden oluşmasına olanak sağlamaktadır. Bu işlem neticesinde ise, iki bireyin kopyası durumundaki kopyalanmış bireyler ile çeşitlilik sağlanmış ve en iyi çözüme yaklaşım sağlanmıştır.

Çaprazlama için uygulamada iki noktalı çaprazlama seçilmiştir. Bu tür çaprazlama işleminde iki tane kırılma noktası alınmaktadır. İlk noktaya kadar olan bitler birinci kromozomdan, iki nokta arasındaki bitler ikinci kromozomdan, kalanlar ise tekrar birinci kromozomdan yeni bireye kopyalanmaktadır.

(**12345**26789 + **45368**9721) = (**1234**59721) = 123459768

Şekil 4.6. Permütasyon Kodlamada Çaprazlama

Uygulamada seçilen ikili turnuva metodunu uygulamak için toplumda rastgele 2 şer birey alınıp birbirleriyle kıyaslanmaktadır. Bu kıyaslama işlemini, daha önce elitizm fonksiyonunda yapılmış olan bireylerin uygunluklarına göre sıralanmış olması kolaylaştırmaktadır. Çünkü rastgele elde edilen sayıların, sayı değerlerini kıyaslamak yeterli olmaktadır. Çaprazlama için seçilen bireyler iki noktalı yöntem ile çaprazlanıp yeni topluma aktarılmaktadır. Bu çalışmada çaprazlama oranı 0,95 olarak belirlenmiştir.

4.4.3.3. Mutasyon

Genetik Algoritma programının optimum sonuca ulaşmasında önemli olan başka bir etkende mutasyon işlemidir. Programın belirli bir alana yoğunlaşarak sonuca ulaşmayı engelleyen bazı durumlarda, problemin daha geniş bir alanda arama yapabilmesi için mutasyon işlemine başvurulmaktadır. Böylelikle popülasyondaki çözümlerin yerel optimuma düşmesi engellenmiş olur. Mutasyon için rastgele bir birey seçilir ve yine rastgele seçilen gen ile genin değerine sahip olan diğer gen yer değiştirilerek gerçekleştirilir. Çalışmada mutasyon oranı 0,01 olarak belirlenmiştir.

4.4.3.4. Önceki Toplum ile Yeni Toplumu Değiştir

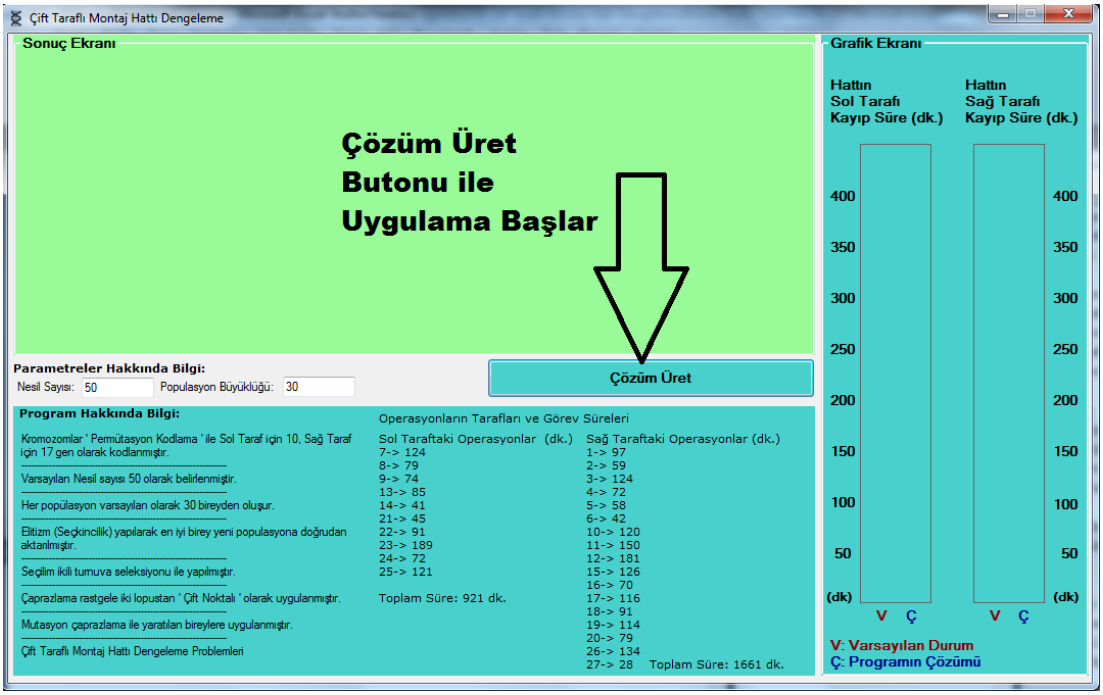
Yeni popülasyon oluşturma sürecinde iki farklı yöntem vardır. Bu yöntemlerin ilki, mevcut neslin tamamının yeni neslin uygunluk değeri yüksek bireyleriyle yer değiştirmesini temel alan basit yöntemdir. İkinci yöntem olan dengeli yöntem ise yeni neslin iyi bireylerini mevcut hattın sadece zayıf bireyleriyle değiştirmektedir. Çalışmada basit yöntem kullanılarak önceki topluluk yeni topluluk ile değiştirilmiştir.

4.4.3.5. Sonlandırma Koşulu Kontrolu

Genetik algoritmaların arama uzayında çözüm arayışı istenilen çözüme yaklaşması veya belirli nesil sayısına ulaşması halinde sona erer. Çalışmada problemin çözümü için sonlandırma koşulu belirlenen nesil sayısı kabul edilmiştir. Bu yöntemde döngü sonlanınca problemin en uygun çözümü elde edilmiş olur.

4.5. Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme Problemi için Geliştirilen Genetik Algoritma Tabanlı Programın Tanıtılması

Çalışmanın bu kısmında çift taraflı montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümü için geliştirilen genetik algoritma tabanlı program hakkında bilgi verilmektedir.

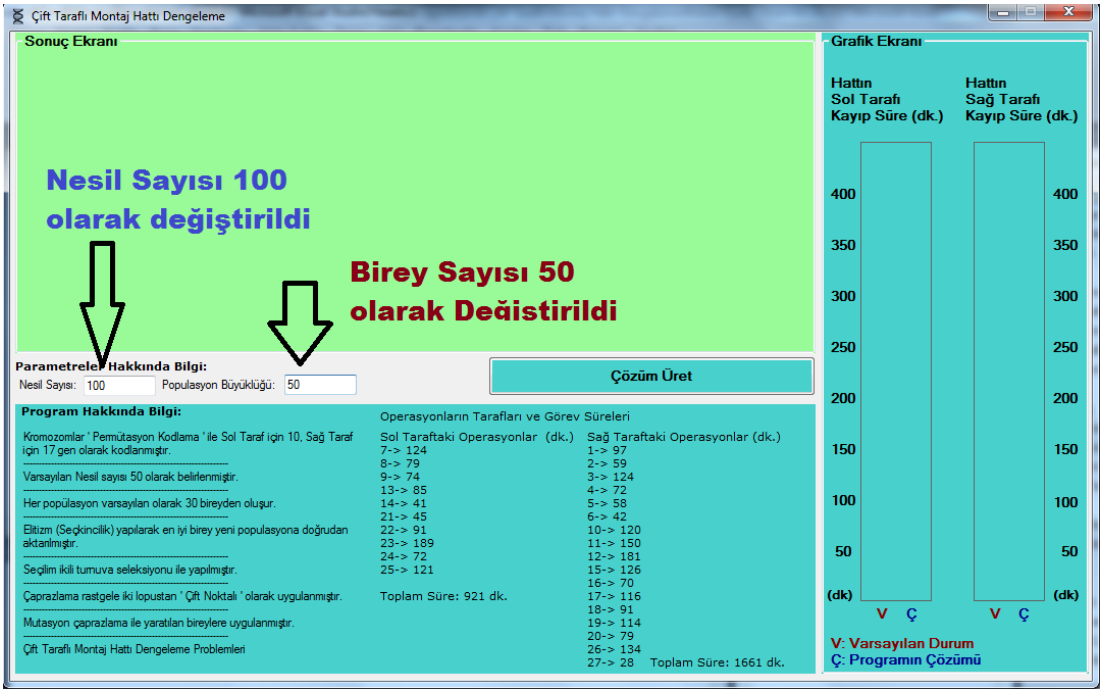


Şekil 4.7. Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme için Geliştilen Programın Arayüz Ekranı

Şekil 4.7.'de Çift taraflı montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümü için C# da yazılan programın arayüzü gösterilmektedir. Çözüm üret butonu ile uygulama başlamaktadır. Genetik algoritma optimal çözüme yakın çözümler sunmakla birlikte optimalden uzak çözümlerde sunabilmektedir. Bu durumda genetiğin doğasından kaynaklanmaktadır.

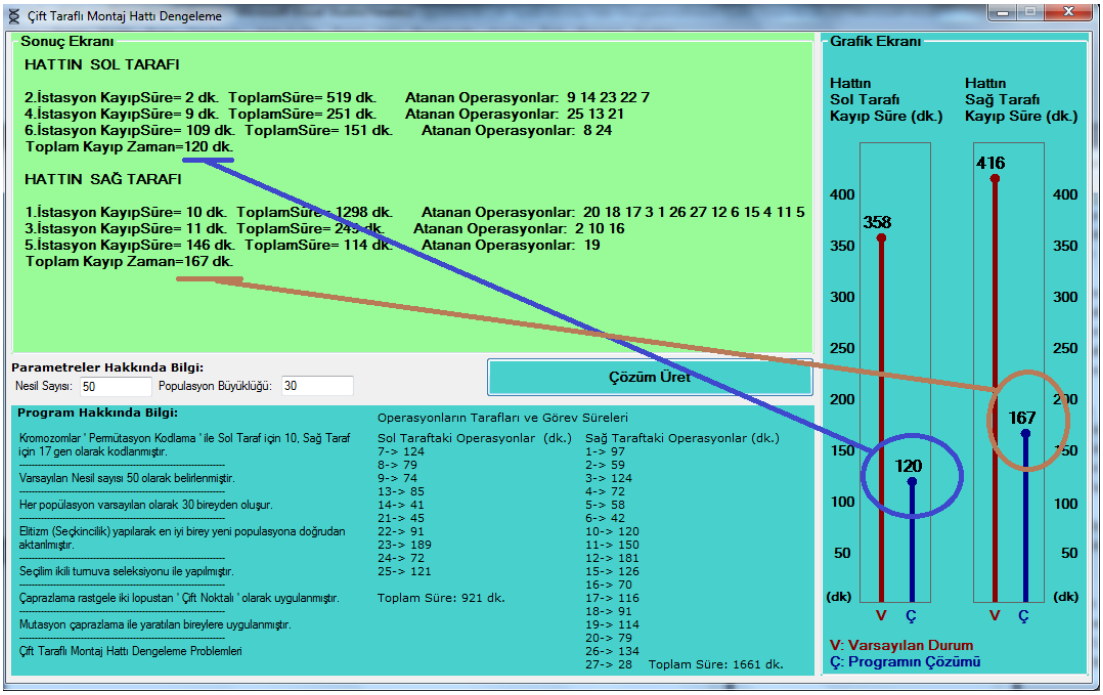
Çözüm üret butonuna basıldığında program çözüm üretmekle beraber mevcut hattın sahip olduğu kayıp süre ile programın çözüm olarak ürettiği hattın kayıp süresini grafiksel olarak göstermektedir.

Farklı çevrim süreleri ve üretim hızında çalışabilen program optimale yakın çözümler üretebilmektedir.



Şekil 4.8. Nesil Sayısı ve Popülasyon Büyüklüğünün Değiştirilebilirliğinin Arayüz Ekranında Gösterilmesi

Program dinamik şekilde kodlandığından Şekil 4.8.'de görüldüğü gibi nesil sayısı veya popülasyon büyüklüğü kullanıcı tarafından değiştirilebilmektedir. Genetik algoritma probleme uygulanırken elitizm yapılarak en iyi birey yeni popülasyona doğrudan aktarılmıştır. Seçilim operatörü olarak ikili turnuva seçimi kullanılmıştır. Genetik algoritmaların en önemli operastörlerinden biri olan çaprazlama iki lopustan çift noktalı olarak uygulanmıştır. Mutasyon oranı ise 0,01 olarak belirlenmiştir. Sonuç ekranında bu bilgilerle beraber sol ve sağ taraftaki operasyon grupları ve popülasyon büyüklüğü hakkında bilgi verilmektedir.



Şekil 4.9. Uygulama Sonuçlarının Grafik Ekranında Gösterilmesi

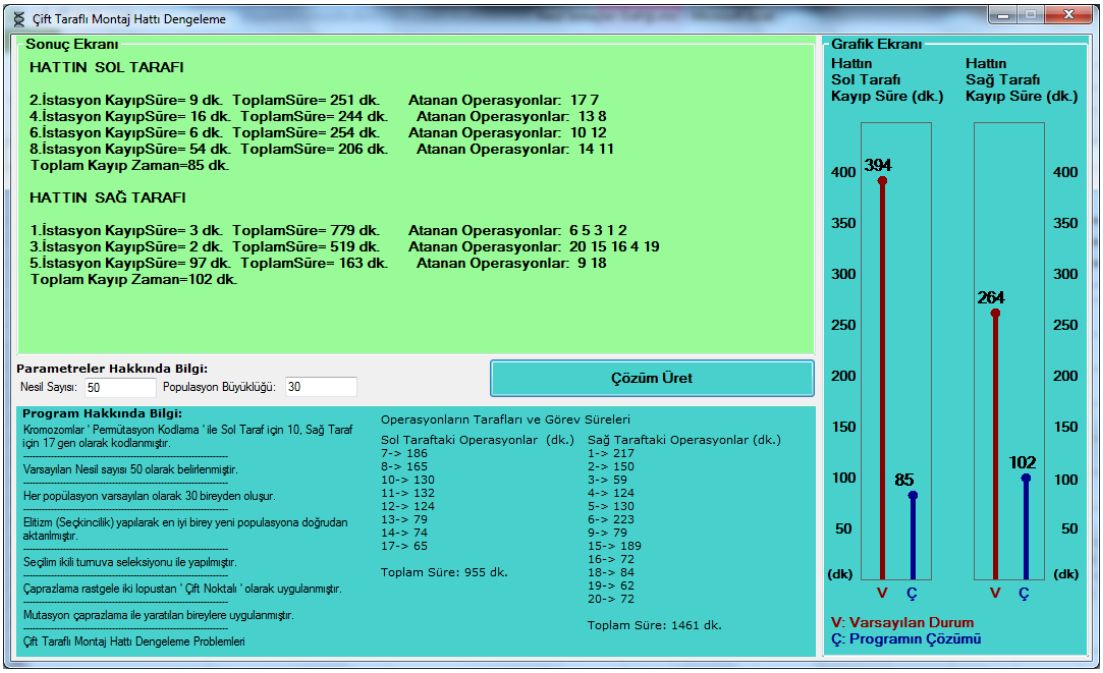
Şekil 4.9.'da sonuçların grafik ekranında karşılıkları örnek bir uygulama üzerinden belirtilmiştir. Sonuç ekranında hattın sol ve sağ tarafındaki kayıp süreler rakamsal olarak ifade edildiği gibi grafik ekranı üzerinden de ifade edilmektedir.

4.6. Uygulama Sonuçları

Çalışmada geliştilen programla elde edilen sonuçlar grafiksel ve yazılı olarak ifade edilerek karşılaştırılmıştır. Uygulama sonucunda birinci, ikinci ve üçüncü denemelerle edilen çözüm önerileri tanıtılmış ve ayrıntılı bilgi verilmiştir. Son olarak programın çalışmasıyla elde edilen tüm çözümler arasından seçilen optimum çözüm hakkında açıklayıcı bilgi verilmiştir.

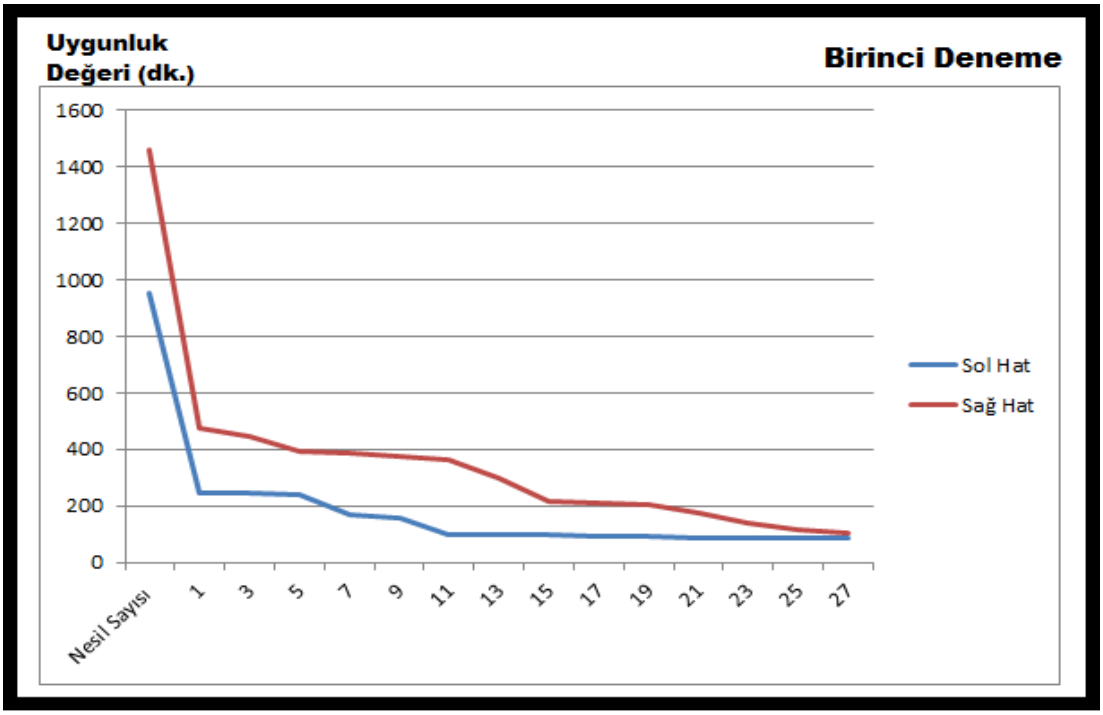
4.6.1. Birinci Deneme Sonuçları

Çift taraflı montaj hattı dengeleme probleminin çözümü için geliştirilen genetik algoritma tabanlı programın çözüm üret butonuna basılmasıyla birinci deneme sonuçlarına ulaşılmaktadır.



Şekil 4.10. Uygulama Sonuçlarından Birinci Denemenin Arayüz Ekranı

Şekil 4.10'da programın birinci çözüm önerisinin arayüzü gösterilmiştir. Ulaşılan birinci çözüm önerisinde, 4 eş istasyonlu mevcut hattan daha az kayıp süreye sahip bir alternatif önerilmektedir. Ancak ulaşılan çözüm önerisinde eş istasyon sayısı değişmemektedir.



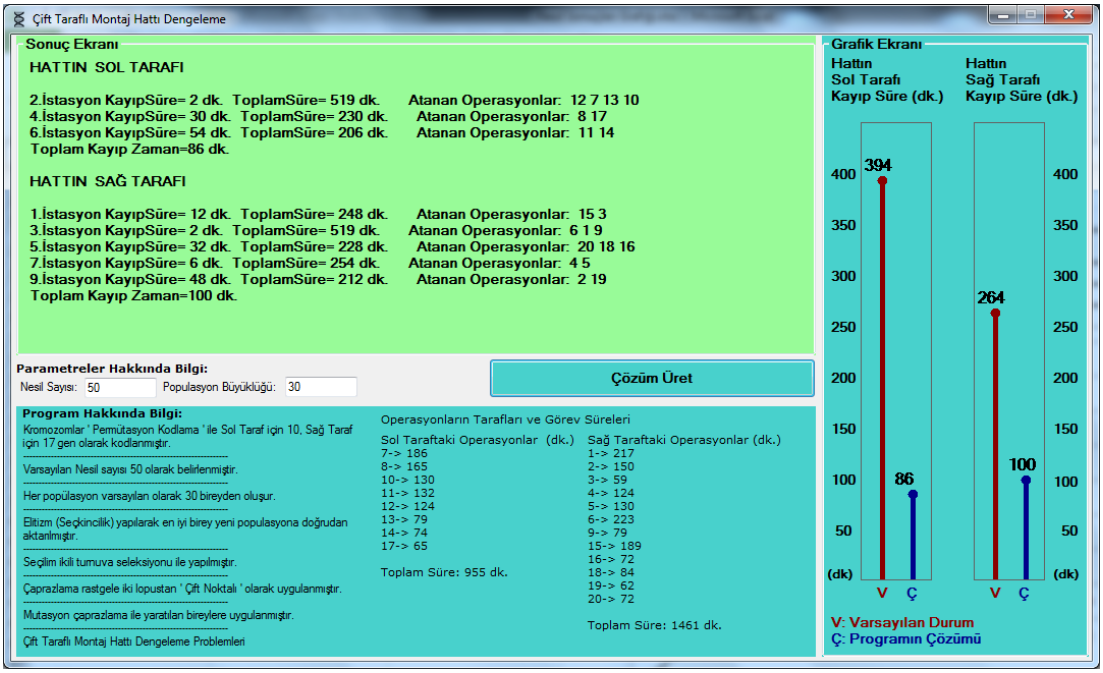
Şekil 4.11. Uygulama Sonuçlarından Birinci Denemenin Uygunluk Değerleri

Şekil 4.11'de programın çalışmasıyla elde edilen ilk çözüm önerisinin nesil sayısına göre uygunluk değerlerinin değişimi grafiksel olarak ifade edilmiştir. İlk nesilde rastsal olarak aranan uzay optimalden uzak değerler verebilmektedir. Çözüm uzayının aranmasıyla program nesil sayısını büyücek ve optimale yakın sonuçlar bulunacaktır. Sol tarafa bakıldığında uygunluk değeri 955 dk. olan ilk nesil iterasyonlara devam ederek son nesilde 85 dk. uygunluk değerine ulaşmaktadır. Sağ tarafta ise ilk nesildeki 1461 dk. olan uygunluk değeri son nesilde 102 dakikaya ulaşmaktadır.

Program optimum noktayı ararken her yeni nesilde elitizm, çaprazlama ve mutasyon operatörleri çalışmakta ve çözüme ulaşmaya katkı sağlamaktadır.

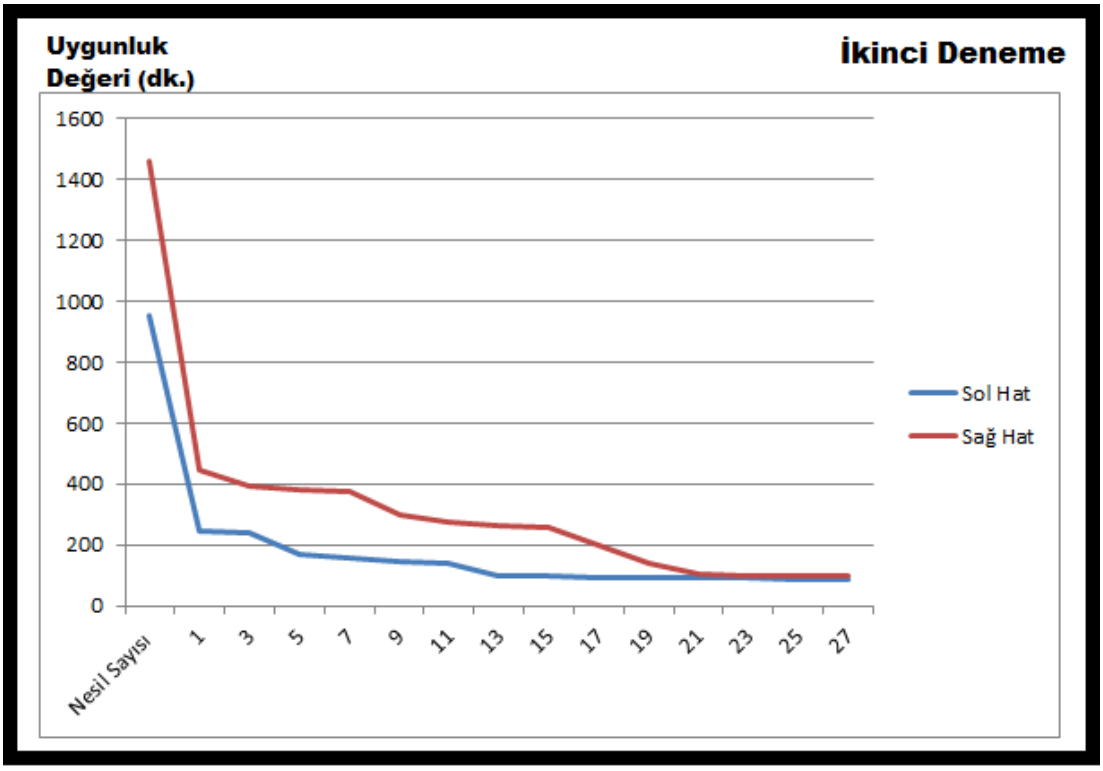
4.6.2. İkinci Deneme Sonuçları

Programın ikinci kez çözüm üretmesiyle ulaşılan ikinci deneme sonuçları ilk deneme sonuçlarından farklıdır. Genetik Algoritmalar optimal çözüm uzayına ulaşmaya çalışırken hep güçlü olan bireyi alıp iterasyona devam etmektedir.



Şekil 4.12. Uygulama Sonuçlarından İkinci Denemenin Arayüz Ekranı

Şekil 4.12.'de ikinci denemeyle elde edilmiş çözüm önerisi gösterilmektedir. Program mevcut hatla, ikinci deneme sonucunda ulaşılan kayıp sürelerini grafik ekranında açıkça belirtmektedir. Fakat ikinci deneme sonucunda ulaşılan kayıp süre mevcut hattan daha az olsa da bu, çözümün optimal olduğunu göstermemektedir. Sonuç ekranına bakıldığında 2, 19 nolu operasyonlar 9. istasyona atanmıştır. 9 parça istasyona yayılan operasyonlar hatta 5 eş istasyon kurulmasını önermektedir. Bu çözümün optimal çözümden uzak olduğunu ifade etmektedir.

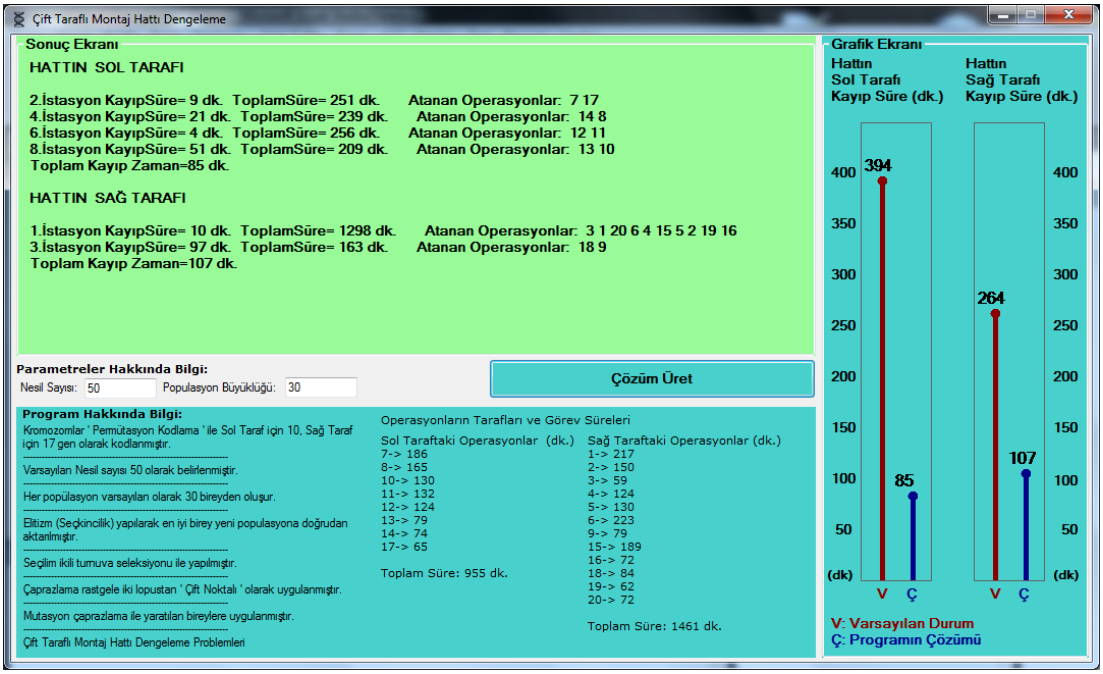


Şekil 4.13. Uygulama Sonuçlarından İkinci Denemenin Uygunluk Değerleri

Şekil 4.13'de uygulama sonuçlarından ikinci denemenin nesil sayısına göre uygunluk değeri değişimi gösterilmiştir. Birinci denemeye göre daha az nesil sayısında optimal seviyeye ulaşılmıştır. Programın çalışmasıyla çift taraflı montaj hattının sol tarafında ilk nesildeki 955 dakikalık uygunluk değeri son nesilde 86 dakikaya ulaşmıştır. Çift taraflı montaj hattının ise sağ tarafında 1461 dakika olan uygunluk değeri son nesilde 100 dakikaya ulaşmıştır.

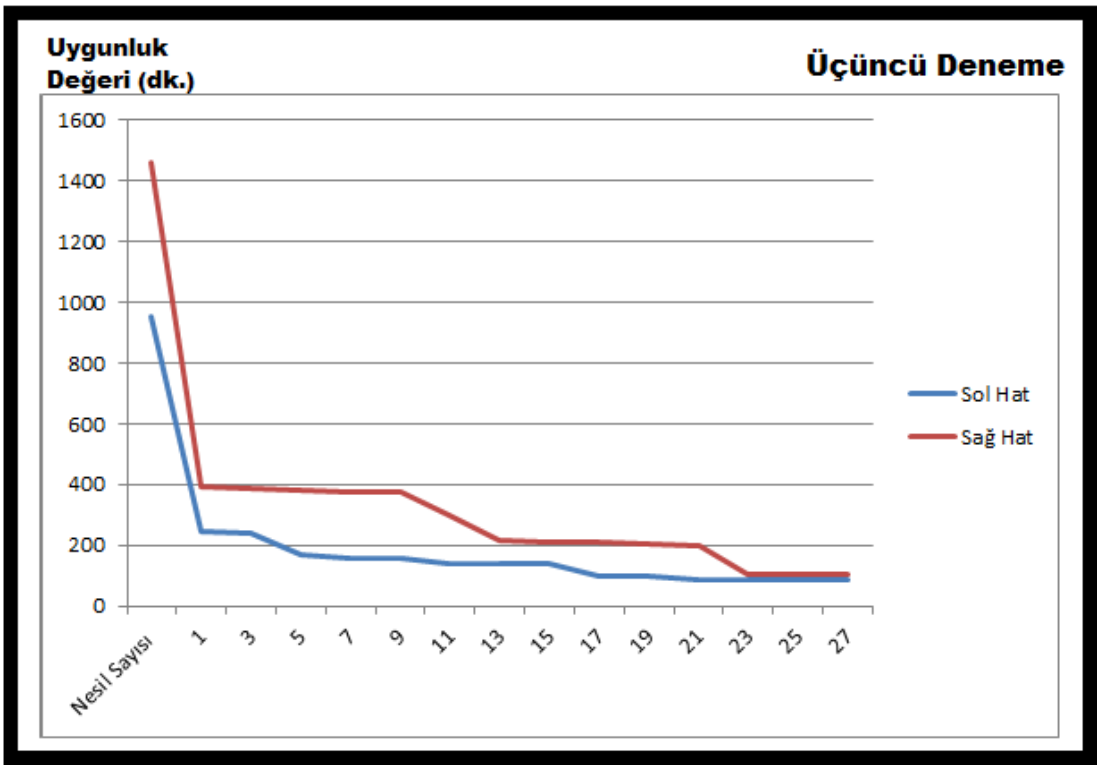
4.6.3. Üçüncü Deneme Sonuçları

Çift taraflı montaj hattı dengeleme problemi için geliştirilen genetik algoritma tabanlı program çözüm üret butonuna basıldığında her defa farklı çözümler önermektedir.



Şekil 4.14. Uygulama Sonuçlarından Üçüncü Denemenin Arayüz Ekranı

Şekil 4.14.'de programın üçüncü denemeyle ulaştığı çözüm ekranı gösterilemektedir. Genetik Algoritmalar optimal sonucu ararken kötü sonuçlara da ulaşabilmektedir. Üçüncü deneme sonucunda ulaşılan çözüm kayıp süreler açısından mevcut hatla kıyaslandığında daha optimal bir sonuç olmasına rağmen mevcut hat uzunluğu, eş istasyon sayısı değişmediğinden optimum değildir.



Şekil 4.15. Uygulama Sonuçlarından Üçüncü Denemenin Uygunluk Değerleri

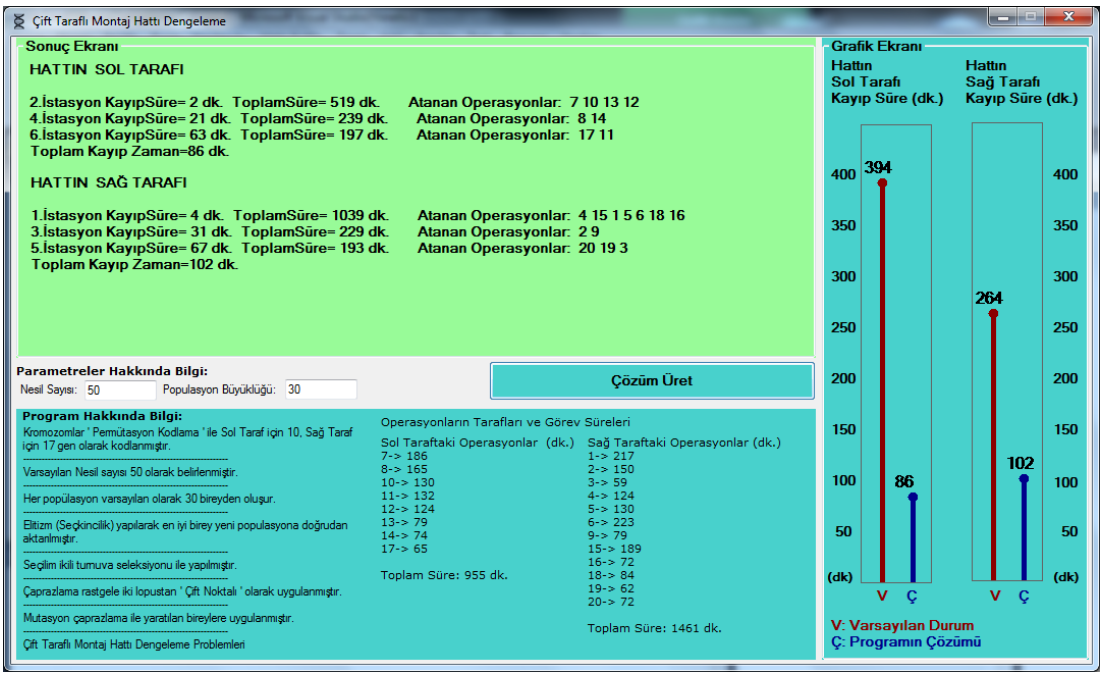
Şekil 4.15.'de uygulama sonuçlarından üçüncü denemenin nesil sayısına göre uygunluk değerlerinin değişimi grafiksel olarak gösterilmiştir. Çift taraflı montaj hattı dengeleme tip-1 problemi için geleiştirilen amaç fonksiyonu istasyon kayıp sürelerini minimize ederek eş istasyon sayısını azaltmayı amaçladığından çalışmada uygunluk değerinin minimum değerine ulaşılmaya çalışır. Amaç fonksiyonu maksimizeyi amaçlarsa uygunluk değerinin maksimum noktası optimum sonuç olacaktır. Ayrıca ilk nesillerde kötü çözümlere ulaşan genetik algoritma her zaman bu şekilde çalışmamaktadır. Çalışmanın beşinci ve altıncı denemelerinde ilk nesillerde optimal sonuca yakın sonuçlara ulaşılmaktadır.

Genetik algoritma tabanlı programın çalışmasıyla üçüncü deneme sonucunda hattın sol tarafında ilk nesilde ulaşılan 955 dakika olan uygunluk değeri

iterasyonların devam etmesiyle son nesilde 85 dakikaya indirgenmiştir. Sağ tarafta ise 1461 dk. olan uygunluk değeri son nesilde 107 dk. olarak belirlenmiştir.

4.6.4. Optimum Sonucun Değerlendirilmesi

Programla geliştirilen çözüm önerilerinin hepsi değerlendirilerek en iyi sonuç bulunmuştur. En iyi sonuç, parça iş istasyonlarındaki kayıp sürelerini en aza indirgeyerek minimum eş istasyon sayısına ulaşan çözüm önerisi olarak belirlenmiştir.

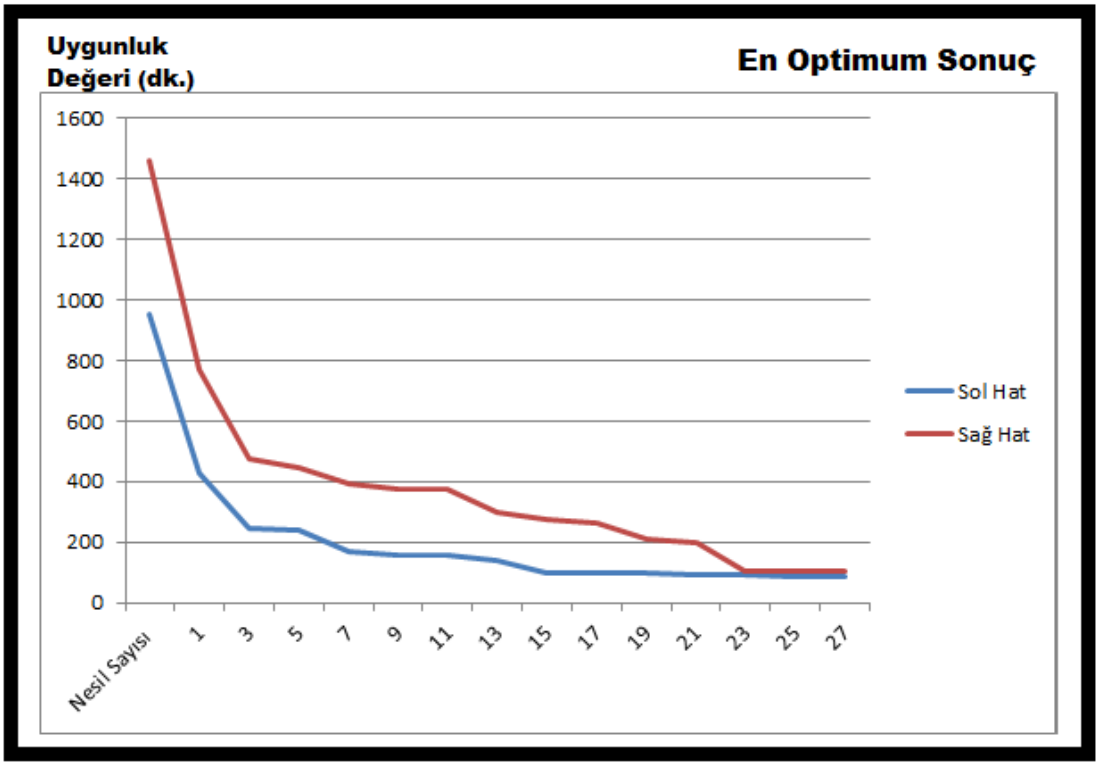


Şekil 4.16. Uygulama Sonuçlarından Optimum Çözüm Önerisinin Arayüz Ekranı

Şekil 4.16.'da tüm uygulama sonuçları değerlendirilerek optimum sonuç arayüz ekranıyla ulaşılam çözüm önerisi gösterilmiştir. Birinci denemeden başlayarak çözüm üretmeye devam eden program mevcut 4 eş istasyondan oluşan L6-L9 çift taraflı montaj hattı için 3 eş istasyondan oluşan L6-L8 hattını

önermektedir. Mevcut hatta 8 parça iş istasyonunda işlem gören ürün çift taraflı montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümü için C# da yazılan genetik algoritma tabanlı program yardımıyla 6 parça iş istasyonundan işlem görerek tamamlanabilmektedir.

Yazılan programda tüm çözüm önerilerin oluşturulan iş grupları arası öncelik ilişkilerini dikkate alarak çözüm üretmektedir. Örneğin birinci, ikinci, üçüncü ve optimum çözüm önerisinde görüldüğü gibi 1, 2, 19 nolu sağ taraf iş grupları arasındaki öncelik ilişkileri gereği söz konusu tüm çözüm önerilerinde bu sıralama değişmemektedir.



Şekil 4.17. Uygulama Sonuçlarından Optimum Çözüm Önerisinin Uygunluk Değerleri

Şekil 4.17.'de uygulama sonucunda bulunan optimum çözümün uygunluk değerlerinin nesil sayısına göre değişimi grafiksel olarak ifade edilmiştir. Mevcut çift taraflı montaj hattının parça is istasyonlarında bulunan 658 dakikalık kullanılmayan süre optimum sonuç önerisiyle 188 dakikaya indirgenmiştir.

Tablo 4.3. Mevcut Hat ile Optimal Hat Önerisinin Kayıp Süre Karşılaştırması

Eş İstasyon	Parça İstasyon	Mevcut Hattaki Kayıp Süre	Optimal Hat Önerisindeki Kayıp Süre
L6	1	68	4
L6	2	243	2
L7	3	90	31
L7	4	134	21
L8	5	12	63
L8	6	19	67
L9	7	98	-
L9	8	-	-
Toplam		664	188

Mevcut hatta L6 eş istasyonunun sağ tarafında bulunan 1 nolu parça istasyondaki 68 dakikalık kayıp süre optimum sonuç önerisiyle 4 dakikaya, 2 nolu parça istasyonunda ise 243 dakika olan kayıp süre 2 dakikaya indirgenmiştir.

L7 eş istasyonunun sağ tarafında bulunan 3 nolu parça istasyonun 90 dakikalık kayıp süresi 31 dakikaya, 4 nolu parça istasyonun 134 dakikalık kayıp süresi de 21 dakikaya düşürülmüştür.

L8 eş istasyonunun sağ tarafında bulunan 5 nolu parça istasyonun 12 dakika olan kayı süresi 63 dakikaya, 6 nolu parça istasyonun 19 dakika olan kayıp süresi 67 dakikaya yükselmiştir.

L9 eş istasyonunun sağ tarafında bulunan 7 nolu parça istasyonun kayıp süresi 98 dakikadır. Genetik algoritma tabanlı program optimum sonuç olarak mevcut L6-L9 çift taraflı montaj hattının yerine revize edilen atamalarla oluşturulan L6-L8 hattını önermektedir. Önerilen optimum çözümde L9 hattı bulunmadığından L9 eş istasyonuna ait kayıp süre de söz konusu değildir.

Çalışmada ele alınan gövde tamamlama bölümünün L6-L9 eş istasyonlarında yapılan 62 operasyon optimum çözüm önerisiyle L6-L8 eş istasyonları tarafından yapılabileceğini göstermiş ve Tourmalin çift taraflı montaj hattını 4 eş istasyondan 3 eş istasyona düşürmüştür. Ayrıca Tablo 4.3.'de görüldüğü üzere toplam kayıp süre 664 dakikadan 188 dakikaya indirgenmiştir.

SONUÇ

Endüstriyel tesislerde farklı şekillerde montaj hatlarının kullanılmasıyla işletmeler kaynaklarını daha etken kullanır hale gelmiştir. Montaj hatlarındaki farklılık üretilen ürünün boyutu ve özelliğinden kaynaklanmaktadır. Montaj hatları yerleşim şekline göre düz, u-tipi ve çift taraflı montaj hattı olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan çift taraflı montaj hatları büyük boyutlu ürünlerin üretilmesinde kullanılmaktadır. Çift taraflı montaj hatlarında otobüs, kamyon gibi ürünler üretilmekte olup üretim sürecinde hattın sağ ve sol tarafı aynı anda kullanılarak ürüne işlemler uygulanmaktadır.

Çift taraflı montaj hattı dengeleme problemleri ile ilgili literatürde çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Az sayıda olan çalışmalar ise problemin çözümü için matematiksel model ve sezgisel yaklaşımlar önermektedir. Ayrıca literatürde bulunan çalışmaların çoğu küçük boyutlu veri setleri kullanılarak yapılan çalışmalardır. Bu da yapılan çalışmaların sınırlılıklarını arttırmakta ve gerçek hayata uygulanabilirlik derecesini azaltmaktadır. Çift taraflı montaj hattı kullanan bir işletmeden alınan gerçek verileri kullanan çalışma bu bakımdan literatürde bulunan çalışmalardan farklılık göstermektedir.

Çalışmada operasyonların eş istasyonlara atanması için çif taraflı montaj hattı problemlerinin doğası gereği istasyon odaklı prosedür geliştirilmiştir. Bazı operasyonların başlamadan önce hazırlık zamanına ihtiyacı vardır. Çalışma içerisinde

bu hazırlık zamanları, ilgili operasyonun süresine eklenerek operasyonun toplam süresi belirlenmiştir. Literatürde bulunan çalışmalarda bazı çift taraflı montaj hattı dengeleme problemleri gerçek hayatta kullanılan hatlarla uyum göstermemektedir. Çünkü yapılan çalışmalarda önerilen yaklaşım hattın her iki tarafında eşit sayıda işlemci tarafından operasyonun gerçekleştirilmesidir. Ancak bu durum bu çalışmada da ele alınan çift taraflı montaj hattı dengeleme probleminde olduğu gibi sağ taraf operasyonların sol taraf operasyonlara göre fazlalığı ve her iki tarafta yapılan operasyonların çok az sayıda olması sebebiyle mümkün değildir. Bunun aksine sol taraf operasyonları da ileriki dönemlerde yapılacak çalışmalarda fazla olabilir. Operasyon öncelik ilişkilerine uygun olarak geliştirilen algoritma en iyi çözüme ulaşmak için parça istasyonların atıl sürelerini minimize ederek eş istasyon sayısını azaltmayı hedeflemektedir.

Bu çalışmada çift taraflı montaj hattı dengeleme tip-1 probleminin çözümü için genetik algoritma yaklaşımı kullanılmıştır. Ayrıca çift taraflı montaj hattı dengeleme tip-1 ve tip-2 problemlerinin çözümü için matematiksel model önerilmiştir. Meta-sezgisel yaklaşımlardan olan genetik algoritmaların optimizasyon problemlerindeki başarısı bu çalışmayla bir kez daha kanıtlanmıştır. Problemin çözüme ulaşmasında genetik operatörlerden seçilim, çaprazlama ve mutasyonun katkıları önemli düzeydedir.

C# da dinamik şekilde yazılan genetik algoritmalar tabanlı programla probleme çözüm aranmıştır. Program dinamik şekilde kodlandığından istenilen sayıda iterasyona ulaşılabilmektedir. Programın çalışmasıyla farklı nesillerde mevcut hattan daha optimal hat düzenlerine ulaşılmıştır. Mevcut çift taraflı montaj hattında 4

eş istasyonunda yapılan 62 operasyonluk işler optimum çözüm önerisiyle 3 eş istasyonda yapılabilmektedir. Ayrıca mevcut hatta 12 kişinin gerçekleştirdiği 2456 dakikalık operasyon optimum sonuç ile 10 kişiyle gerçekleştirilebilir hale getirilmiştir. Optimum çözüm önerisinin kullanılmasıyla 2 üretim hızında çalışan fabrika, işçilik maliyetini yıllık 360 kişi azaltacaktır. Çift taraflı montaj hattının 4 eş istasyonunda yapılan bu çalışma mevcut hattın hepsine uygulandığı takdirde bu kazanım artacaktır. Böylece ulaşılan yeni hat düzeninde parça istasyonlarda bulunan atıl süreler ve eş istasyon sayısı mevcut hattan daha aza indirgenmiştir.

Bu çalışma kapsamında ele alınan problem büyük boyutlu ürünlerin üretildiği işletmelerde sıkça karşılaşılan problemler olup optimal çözümlerle ekonomik katkı elde edilecektir. Çift taraflı montaj hattında yapılacak küçük iyileştirmelerle işletmelere önemli düzeyde kazanım sağlanabilecektir.

KAYNAKÇA

Abdel-Malek, L., Boucher, T.O., (1985), A Framework for the Economic Evaluation of Production System and Product Design Alternatives for Robot Assembly, ***International Journal of Production Research***, 23, 197–208

Ajenblit, D., Wainwight, R., (1998), Applying Genetic Algorithms to the U-Shaped Assembly Line Balancing Problem, ***IEEE***, s.96-101

Akpınar, S., Bayhan, G., M., (2011), A Hybrid Genetic Algotihm for Mixed Model Assembly Line Balancing Problem with Paralel Workstations and Zoning Constraints, ***Engineering Applications of Artificial Intelligence***, 24, 449-457

Bäck, Thomas, (1996), Evolutionary Algorithms in Theory and Practice, Oxford University Press, New York

Bartholdi, J., J., (1993), Balancing Two-sided Assembly Lines: A Case Study, ***International Journal of Production Research***, 31,10, s.2447-2461

Baybars, İ., (1986), A Survey of Exact Algorithms for the Simple Assembly Line Balancing Problem, ***Management Science***, 32, 8, 909-932

Baykaşoğlu, A., Dereli, T., (2008), Two-sided Assembly Line Balancing Using an Ant-Colony-Based Heuristic, ***The International Journal of Advanced Manufacturing Technology***, 36, 5-6, 582-588

Bayraktaroğlu, A.,E., (2007), Basit U-Tipi Montaj Hattı Dengelemede Analitik Yöntemlerin Karşılaştırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İst

Becker, C., Scholl, A., (2006), A Survey on Problems and Methods in Generalized Assembly Line Balancing, ***European Journal of Operation Research***, 168, 694-715

Becker, C., Scholl, A., (2009), Balancing Assembly Lines with Variable Paralel Workplaces: Problem Definition and Effective Solution Procedure, ***European Journal of Operational Research***, 199, 359-374

Bellgran, M., Safsten, K., (2010), Production Development, Springer, New York

Beyer, H., Schwefel, H., (2002), Evolution Strategies, ***Natural Computing***, 3-52

Bielli, M., Caramia, M., Carotenuto, P., (2002), Genetic Algorithm in Bus Network Optimization, ***Transportaion Research***, 10, 19-34

Bjarnadóttir Á.S.,(2004), Solving the Vehicle Routing Problem with Genetic Algorithms Informatics and Mathematical Modeling, Technical University of Denmark, Yayınlanmamış Doktora Tezi

Blickle, T., (1996), Theory of Evolutionary Algorithms and Application to System Synthesis, Swiss Federal Institute of Technology, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Zürih

Boysen, N., Fliedner, M., Scholl, A., (2007), A Classification of Assembly Line Balancing Problems, ***European Journal of Operational Research***, 183, 2 , 674-693

Boysen, N., Fliedner, M., Scholl, A., (2008), Assembly Line Balancing: Which Model To Use When, ***International Journal Of Production Economics***, 111, 509-528

Buffa, E., S., (1969), Modern Production Management, John Wiley & Sons, Inc., New York

Bukchin, J., Dar-el, E., M., Rubinovitz, J., (2002), Mixed Model Assembly Line Design in a Make-to-Order Environment, ***Computers & Industrial Engineering***, 41, 405-421

Buxey, G., M., (1974), Assembly Line Balancing With Multiple Stations, ***Mangement Science***, 20,6, 1010-1021

Chica, M., Cordon,O., Damas, S., (2011), An Advanced Multiobjective Genetic Algorithm Design for the Time and Space Assembly Line Balancing Problem, ***Computers & Industrial Engineering***, 61, 103-117

Chutima, P., Chimklai, P., (2012), Multi-objective Two-sided Mixed-model Assembly Line Balancing Using Particle Swarm Optimisation with Negative Knowledge, ***Computers &Industrial Engineering***, 62, 39-55

Çakar, K., (2009), Genetik Algoritmalar Yardımıyla Acil Servis İstasyonu Yerleşiminin Optimizasyonu, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Erzurum

Çantaoğlu, M.,(2009), Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme: Simülasyon Destekli Endüstriyel Bir Uygulama, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Kayseri

Çılkın,S., (2003), Genetik Algoritma ile Montaj Hattı Dengeleme, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara

Diaz-Gomez, P., A., Hougen, D., F., Initial Population for Genetic Algorithms: A Metric Approach, International Conference on Genetic and Evolutionary Methods, 43-49

Duman, C., (2007), Genetik Algoritma ile Tesis Yerleşimi Tasarımı ve Bir Uygulama, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi

Emel, G., G., Taşkın, Ç., (2002), Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları, ***Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi***, 1, 129-152

Erel, E., Sarin, S., (1998), A Survey Of The Assembly Line Balancing Procedures, ***Production Planning & Control: The Management of Operations***, 9:5, 414-434

Erkut, H., Baskak, M., (1997), Stratejiden Uygulamaya Tesis Tasarımı, İrfan Yayıncılık, İst

Eryürük, S., H., Kalaoğlu, F., Baskak, M., (2011), Konfeksiyon Üretiminde İstatistiksel Yöntemle Montaj Hattı Dengeleme, ***Tekstil ve Konfeksiyon***, 65-71

Goldberg, D. E., (1989), Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning, Addison Wesley Publishing Company, USA

Gonzalez, E., L., (2000), Genetic Optimisation of a Fuzzy Distribution Model, ***International Journal of Phyisal Distribution & Logistics Management***, 30, 7/8, 681-696

Gökçen, H., (1994), Karışık Modelli Deterministik Montaj Hattı Dengeleme Problemleri için Yeni Modeller, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ankara

Groover, M., P., (2000), Automation, Production Systems and Computer-Integrated Manufacturing, Prentice Hall, 545-557

Falkenauer, E., (2005), Line Balancing in The Real World, International Conference on Product Lifecycle Management, 360-370

Fogel, D., B., Anderson, R., W., (2000), Revisiting Bremermann's Genetic Algorithm: I. Simultaneous Mutation of All Parameters, ***Evolutionary Computation***, 2, 1204-1209

Fokkert, J., I., Z., Kok, T., G., (1997), The Mixed and Multi Model Line Balancing Problem: A Comparison, ***European Journal of Operational Research***, 100, 399-412

Hicks, C., (2006), A Genetic Algorithm Tool for Optimising Cellular or Functional Layouts in The Capital Goods Industry, ***International Journal of Production Economics***, 104, 598-614

Hoffman, T., R., (1963), Assembly Line Balancing With A Precedence Matrix, ***Management Science***, 9, 4, 551-562

Jackson, J., R., (1956), A Computing Procedure for a Line Balancing Problem, ***Management Science***, 2, 3, 261-271

Karaboğa, D., (2011), Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları, Nobel Yayıncılık, Ankara

Karaoğlan, İ., Altıparmak, F., (2005), Konkav Maliyetli Ulaştırma Problemi için Genetik Algoritma Tabanlı Sezgisel Bir Yaklaşım, **Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 20, 443-454

Kaya, T., (2006), Genetik Algoritma ile Sayısal Filtre Tasarımı, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi

Keskintürk, T., Küçük, B., (2006), Karışık Modelli Montaj Hatlarının Genetik Algoritma Kullanılarak Dengelenmesi, ***Yönetim***, 53, 52-63

Kilbridge, M., Wester, L., (1961), The Balance Delay Problem, ***Management Science***, 8, 1, 69-84

Kilbridge, M., D., Wester, L., (1962), A Review of Analytical Systems of Line Balancing, ***Operations Research***, 10, 5, 626-638

Kim, Y., K., Kim, Y., Kim, Y., J., (2000), Two-Sided Assembly Line Balancing: A Genetic Algorithm Approach, ***Production Planning & Control***, 11, 1, 44-53

Klein, M., (1963), On Assembly Line Balancing, ***Operations Research***, 11, 2, 274-281

Kobu, B., (2008), Üretim Yönetimi, Beta Yayıncılık, İst

Kriengkorakot, N., Pianthong, N., (2007), The Assembly Line Balancing Problem: Review Articles***, KKU Enginering Journal***, 34, 2, 133-140

Kumar, S., A., Suresh, N., (2008), Productions and Operation Management, New Age International, New Delhi

Lee, T., O., Kim, Y., Kim, Y., (2001), Two-Sided Assembly Line Balancing to Maximize Work Relatedness and Slackness, ***Computers & Industrial Engineering***, 40, 273-292

Man, K., F., Tang, K., S., Kwong, S., (1996), Genetic Algorithms: Concepts and Applications, ***IEEE Transactions on Industrial Electronics***, 43, 519-534

Martinez, E., C., Duje, D., Perez, G., A., (1997), On Performance Modeling of Project-Oriented Production, ***Computers & Industrial Engineering***, 32, 3, 509-527

Mccall, J., (2005), Genetic Algorithms for Modelling and Optimisation, ***Journal of Computational and Applied Mathematics***, 184, 205-222

Michalewicz, Z., Genetic Algorithm + Data Structures = Evolution Programs, Springerlink, New York

Miltenburg, G., J., Wijingaard, J., (1994), The U-line Balancing Problem, ***Management Science***, 40, 10, 1378-1388

Mitchell, M., (1999), An Introduction to Genetic Algorithms, MIT Press, London

Mushavarati, F., Hamouda, A.S.M., (2011), Modified Genetic Algorithms For Manufacturing Process Planning in Multiple Parts Manufacturing Lines, ***Expert Systems With Applications***, 38, 10770-10779

Önder, E., (2011), Araç Rotalama Problemlerinin Parçacık Sürü ve Genetik Algoritma ile Optimizasyonu, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, Yayınlanmamış Doktora Tezi

Özbakır, L., Baykaşoğlu, A., (2011), Genetik Programlamaya Dayalı Sınıflandırma Yaklaşımı: MEPAR-MINER, Endüstri Mühendisliği Yazılımları ve Uygulamaları Kongresi, 211-222

Özcan, U., Toklu, B., (2009a), Multiple-criteria Decision-making in Two-Sided Assembly Line Balancing: A Goal Programming and A Fuzzy Goal Programming Models, ***Computers & Operations Research***, 36, 1955-1965

Özcan, U., Toklu, B., (2009b), A Tabu Search Algorithm for Two-Sided Assembly Line Balancing, ***International Journal of Advanced Manufacturing Technology***, 43, 822-829

Özcan, U., (2010), Balancing Stochastic Two-sided Assembly Lines: A Chance-constrained, Piecewise-linear, Mixed Integer Program and A Simulated Annealing Algorithm, ***European Journal of Operational Research***, 205, 81-97

Özgörmüş, E., (2007), Ergonomik Koşullar Altında Montaj Hattı Dengeleme, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Denizli

Papadopoulos, H., T., Heavey, C., (1996), Queueing Theory in Manufacturing Systems Analysis and Design: A Classification of Models for Production and Transfer Lines, ***European Journal of Operational Research***, 92, 1, 1-27

Ponnanbalam, S., G., Aravindan, P., Subba Rao, M., (2003), Genetic Algorithms for Sequencing Problems in Mixed Model Assembly Lines, ***Computers & Industrial Engineering***, 45, 669- 690

Purnomo, H., D., Wee, H., Rau, H., (2011), Two-Sided Assembly Lines Balancing With Assignment Restrictions, ***Mathmetical and Computer Modelling***, 1-11

Razali, N., M., Geraghty, J., (2011a), Biologically Inspired Genetic Algorithm to Minimize Idle Time of the Assembly Line Balancing, Nature and Biologically Inspired Computing Third World Congress, 105-110

Razali, N., Geraghty, J., (2011b), Genetic Algorithm Performance with Different Selection in Solving TSP, Proceeding of The World Congress on Engineering, London

Reeves, C., Rowe, J., E., (2003), Genetic Algorithms-Principles and Perspectives, Kluwer Academic Publishers, New York

Rekiek, B., Delchambre, A., (2006), Assembly Line Design The Balancing of Mixed-Model Hybrid Assembly Lines with Genetic Algorithms, Springer

Roder, A., Tibken, B., (2006), A Methodology for Modeling Inter-Company Supply Chains and for Evaluating a Method of Integrated Product and Process Documentation***, European Journal of Operational Research***, 169, 1010-1029

Sabuncuoğlu, İ., Erel, E., Alp, A., (2009), Ant Colony Optimization fort the Single Model U-Type Assembly Line Balancing Problem, ***International Journal of Production Economics***, 120, 287-300

Scholl, A., Boysen, N., (2009), Designing Parallel Assembly Balancing Lines with Split Workplaces: Model and Optimization Procedure, ***International Journal of Production Economics***, 119, 90-100

Scholl, A., Fliedner, M., Boysen, N., (2010), Balancing Assembly Lines with Assignment Restrictions, ***European Journal of Operational Research***, 200, 688-701

Sezen, B., (2011), Üretim Yönetiminde Yeni Yaklaşımlar ve Uygulamalar, Efil Yayınevi, Ankara

Sinanoğlu, C., Börklü, H., R., (2001), Montaj Sırası Planlama Yaklaşımları-II: BDT Verisi Kullanan, Yapay Zeka, Unsur Tabanlı, Özel Veri Yapıları Kullanan, Dil Temsil ve Sıralı Liste Metotları, ***Politeknik Dergisi***, 4, 2, 1-13

Sivanandam, S., N., Deepa, S., N., (2008), Introduction to Genetic Algorithms, Springerlink, New York

Smith, A., (2006), Milletlerin Zenginliği, Çev.: H. Derin, Sun.: G. Kazgan, Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, Paris

Swamidass, P., M., (2000), Encyclopedia of Production and Manufacturing Management, Kluwer Academic Publishers

Şen, Z., (2004), Genetik Algoritmalar ve En İyileme Yöntemleri, Su Vakfı Yayınları, İstanbul

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***, 2, 227-240

Tasan, S., Ö., Tunalı, S., (2008), A Review Of The Current Applications Of Genetic Algorithm in Assembly Line Balancing, ***Journal of Intelligent Manufacturing***, 19,49-69

Taşkın, Ç., Emel, G., G., (2009), Sayısal Yöntemlerde Genetik Algoritmalar, Alfa Akademi

Tekin, M., (2005), Üretim Yönetimi

Toğan, V., Daloğlu, A., T., (2008), An Improved Genetic Algorithm with Initial Population Strategy and Self Adaptive Member Grouping***, Computers & Structures***, 86, 1204-1218

Üreten, S., (2006), Üretim/İşlemler Yönetimi, Gazi Kitabevi, Ankara

Vrajitoru, D., (1998), Crossover Improvement for The Genetic Algorithm in Information Retrieval, ***Information Processing and Management***, 405-415

Wu, E., Jin, Y., Bao, J., Hu, X., (2008), A Branch-and-Bound Algorithm for Two-Sided Assembly Line Balancing, ***International Journal of Advanced Manufacturing Technology***, 39, 1009-1015

Yüksel, H., (2010), Üretim/İşlemler Yönetimi, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara

Xiaofeng, H., Wu, E., Ye, J., (2008), A Station-Oriented Enumerative Algorithm for Two-sided Assembly Line Balancing, ***European Journal of Operational Research***, 186, 435-440

Xiaofeng, H., Erfei, W.,Jinsong, B., Ye, J., (2010), A Branch-and-Bound Algorithm To Minimize The Length Of A Two-Sided Assembly Line, ***European Journal Of Operational Research***, 206, 703-707

ÇİFT TARAFLI MONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMLERİNİN GENETİK ALGORİTMA YAKLAŞIMIYLA OPTİMİZASYONU

Erdinç KOÇ

Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Mayıs 2012

Tez Yöneticisi: Doç. Dr. Dilber ULAŞ

ÖZET

Çift taraflı montaj hatları otobüs, kamyon gibi büyük boyutlu ürünlerin üretiminde kullanılan üretim hatlarıdır. Geleneksel montaj hatlarında olduğu gibi çift taraflı montaj hatlarında da genel olarak hattın daha verimli kullanılması amacıyla dengeleme çalışması yapılmaktadır. Çift taraflı montaj hattı dengeleme problemleri iki grup altında incelenmektedir. İlki sabit bir çevrim süresi kısıtı altında hat uzunluğunu, eş istasyon sayısını minimize etmeyi amaçlayan Tip-1 problemleridir. İkincisi ise sabit hat uzunluğu kısıtı altında çevrim süresini minimize etmeyi amaçlayan Tip-2 problemleridir. Çalışmada Tip-1 ve Tip-2 problemleri için matematiksel model önerilmiş olup gerçek verilerle elde edilen Tip-1 probleminin çözümü için meta sezgisel yaklaşımlardan genetik algoritmalar (GA) kullanılmıştır. C# da yazılan genetik algoritma programı ile etkili sonuçlara ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çift Taraflı Montaj Hattı Dengeleme, Genetik Algoritma

THE OPTIMIZATION OF TWO-SIDED ASSEMBLY LINE BALANCING PROBLEMS WITH GENETIC ALGORITHM APPROACH

Erdinç KOÇ

Ankara University, The Institute of Social Sciences

Master Thesis, May 2012

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Dilber ULAŞ

ABSTRACT

Two-sided assembly lines are used in the production of heavy-duty vehicles such as buses and trucks. Generally, balancing process is applied in two-sided assembly lines as used in traditional assembly lines to use the line more effectively. The Two-sided assembly line balancing problems are examined in two groups. Type 1 problems aim at minimizing the length of line, number of co-stations under the constraint of constant cycle. On the other hand Type 2 problems aim at minimizing the cycle time under the constraint of length of constant line. In this thesis, a mathematical model is proposed for the Type 1 and Type 2 problems and genetic algorithms from meta-heuristic approaches are used for the solution of Type 1 problem. Effective results are achieved by genetic algorithm programme based on C#.

Keywords: Two-sided Assembly Line Balancing, Genetic Algorithm

EK - 1

EK-1 TOURMALİN L6-L9 ÇİFT TARAFLI MONTAJ HATTI							
No	**İstasyon Adı**	**İş grubu**	**Operasyon Açıklaması**	**Standart** (ad.dk)	**Gruplandırılmış Süre** (dk)	**Öncelik İlişkisi**	**Operasyonun İşlem Gördüğü Taraf**
1	L6	1	ARKA KAPI MOTORU VE FRAME MONTAJI-1	48	217	-	R
2	L6	1	ARKA KAPI MOTORU VE FRAME MONTAJI-2	49			
3	L7	1	ARKA KAPI HAVA VERME VE AYARI-1	60			
4	L7	1	ARKA KAPI HAVA VERME VE AYARI-2	60			
5	L7	2	ARKA KAPI MONTAJI-1	50	150	1	R
6	L7	2	ARKA KAPI MONTAJI-2	50			
7	L7	2	ARKA KAPI MONTAJI-3	50			
8	L6	3	SABİT KAPAK MON. TRMLN (SAĞ1)	30	59	-	R
9	L6	3	SAĞ ÖN FENDER MONTAJI	29			
10	L6	4	SAĞ DEPO KAPAĞI MONTAJI	19	124	-	R
11	L6	4	SAĞ1 BAGAJ KAPAK MONTAJI	35			
12	L6	4	SAĞ2 BAGAJ KAPAK MONTAJI	36			
13	L6	4	SAĞ3 BAGAJ KAPAK MONTAJI	34			
14	L6	5	SAĞ ARKA MOTOR KAPAKLARI MONTAJI	37	130	-	R

15	L6	5	SAĞ ARKA AKÜ KAPAK MONTAJI	35			
16	L6	5	SAĞ ARKA FENDER MONTAJI	30			
17	L6	5	SAĞ ARKA FENDER ÖNÜ SABİT KAPAK	28			
18	L6	6	ÖN KAPI MOTORU VE FRAME MONTAJI	42	223	-	R
19	L7	6	ÖN KAPI HAVA VERME VE AYARI	55			
20	L7	6	ÖN KAPI MONTAJI-1	55			
21	L8	6	ÖN VE ORTA KAPIYA SEALER ÇEKİLMESİ	4			
22	L7	6	ÖN KAPI MONTAJI-2	50			
23	L8	6	ÖN VE ORTA KAPI ÇITALARININ SÖKÜLMESİ	17			
24	L8	7	ARKA MOTOR KAPAĞI TALİ MONTAJI	14	186	-	R
25	L8	7	ARKA MOTOR KAPAK KİLİT MONTAJI	31			
26	L8	7	ARKA MOTOR KAPAĞI KOL MONTAJI	25			
27	L8	7	ARKA MOTOR KAPAK MONTAJI-1	56			
28	L8	7	ARKA MOTOR KAPAK MONTAJI-2	60			
29	L8	8	ARKA FAR ÇERÇEVE VE KÖŞE KAPAKLARI MONTAJI-1	46	205	7	L
30	L8	8	ARKA FAR ÇERÇEVE VE KÖŞE KAPAKLARI MONTAJI-2	45			
31	L8	8	ARKA TAMPON MONTAJI	73			

32	L8	8	ARKA SKY BOX DELİĞİ AÇMA	25			
33	L8	8	ARKA KAPAK KOL SEALERI ÇEKİLMESİ	16			
34	L8	9	ÖN FAR ÇERÇEVELERİ TALİ MONTAJI	38	38	-	R
35	L8	10	ÖN FAR ÇERÇEVESİ MONTAJI(SOL)	45	45	-	L
36	L8	9	ÖN FAR ÇERÇEVESİ MONTAJI(SAĞ)	41	41	-	R
37	L8	11	ORTA TAMPON MONTAJI	59	59	-	L
38	L8	11	SÖKME TRAŞLAMA VE MARKALAMA	32	32	-	L
39	L7	10	SOL ŞOFÖR ALTI OTOMATİK CAM KAPAK MONTAJI	39	39	-	L
40	L7	10	SOL ÖN 2.KAPAK MON	46	46	-	L
41	L7	11	SOL DEPO KAPAĞI MONTAJI	13	41	-	L
42	L7	11	SOL ÖN FENDER MONTAJI	28			
43	L6	12	SOL 1 BAGAJ KAPAK MONTAJI	43	124	-	L
44	L6	12	SOL 2 BAGAJ KAPAK MONTAJI	38			
45	L6	12	SOL 3 BAGAJ KAPAK MONTAJI	43			
46	L6	13	SOL ARKA MOTOR BAKIM KAPAKLARI MONTAJI	37	79	-	L
47	L6	13	SOL ARKA HAVA FİLTRE KAPAK MONTAJI	42			
48	L6	14	SOL ARKA FENDER MONTAJI	23	74	13	L
49	L6	14	SOL ARKA FENDER ÖNÜ SABİT KAPAK	27			

50	L6	14	RADYATÖR ODASI RADYATÖR COVER MONTAJI	24			
51	L8	15	FENDER ÇERÇEVE MONTAJI-1	69	189	-	L
52	L8	15	FENDER ÇERÇEVE MONTAJI-2	60			
53	L8	15	FENDER ÇERÇEVE MONTAJI-3	60			
54	L8	16	ŞİŞLİK ALMA	52	72	-	R
55	L8	16	AMORTİSÖR VE FİTİL SÖKME	20			
56	L8	17	ARACIN TRAŞLANMASI	43	65	-	L
57	L8	17	ARKA TAMPON VE SOL ARKA RADYATÖR KAPAĞI SÖKME	22			
58	L8	18	ARKA TAMPONA ELYAF ÇALIŞMASI	56	56	-	R
59	L9	19	ÖN VE ARKA KAPI ÇITALARI MONTAJI	46	62	2	R
60	L9	19	AMORTİSÖR MONTAJI	16		2	
61	L9	18	ÖN FAR KULAKLARI MONTAJI	28	28	-	R
62	L9	20	ÖN VE ARKA KAPI FİTİLLERİ VE KİLİT MONTAJI	72	72	-	R