

Genelleştirilmiş Tek Yönlü Dairesel Yerleşim Problemine
Genetik Algoritma Tabanlı Bir Çözüm Yaklaşımı

Feriştah Özçelik

DOKTORA TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran 2007

A Genetic Algorithm Based Solution Approach
to Generalized Unidirectional Circular Layout Problem

Feriştah Özçelik

DOCTORAL DISSERTATION

Department of Industrial Engineering

June 2007

Genelleştirilmiş Tek Yönlü Dairesel Yerleşim Problemine
Genetik Algoritma Tabanlı Bir Çözüm Yaklaşımı

Feriştah Özçelik

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Endüstri Mühendisliği Bilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. A. Attila İşlier

Haziran 2007

Feriştah Özçelik'in DOKTORA tezi olarak hazırladığı "Genelleştirilmiş Tek Yönlü Dairesel Yerleşim Problemine Genetik Algoritma Tabanlı Bir Çözüm Yaklaşımı" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye : Prof. Dr. A. Attila İşlier (Danışman)

Üye : Prof. Dr. Hadi Gökçen

Üye : Doç. Dr. Ramazan Yaman

Üye : Yrd. Doç. Dr. Aydın Sipahioğlu

Üye : Yrd. Doç. Dr. R. Aykut Arapoğlu

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Abdurrahman
KARAMANCIOğLU

Enstitü Müdürü

GENELLEŞTİRİLMİŞ TEK YÖNLÜ DAİRESEL YERLEŞİM PROBLEMİNE GENETİK ALGORİTMA TABANLI BİR ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

FERİŞTAH ÖZÇELİK

ÖZET

Tek Yönlü Dairesel Yerleşim Problemi (TYDYP), n adet istasyonun tek yönde hareket eden dairesel malzeme aktarma sistemi üzerindeki n konuma malzeme taşıma maliyetlerini enküçükleyecek şekilde atanması problemidir. TYDYP'nin çözümünde genel bir varsayım, dairesel sisteme parça giriş ve çıkışlarının tek bir yükleme/boşaltma (Y/B) istasyonundan yapılması olmasına rağmen sistemde n adet Y/B istasyonu olması durumunu inceleyen az sayıda çalışmaya da rastlanmıştır. Bu doktora tezinde tek ve n adet yükleme/boşaltma (Y/B) istasyonu içeren TYDYP'ni modelleyip çözen çalışmalar incelenmiş ve öncelikle TYDYP'nin bu temel şeklinin çözümü için bir melez Genetik Algoritma (GA) geliştirilmiştir. Literatürden alınan test problemleri kullanılarak yapılan denemeler, önerilen GA'nın problemin bu temel şeklinin çözümünde literatürde belirtilenlerden daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Kaynaklarda, bazı çalışmaların tek Y/B, diğerlerinin de n adet Y/B istasyonu içeren sistemler üzerinde yoğunlaşmış olduğu ve tasarımda sadece taşıma maliyetleri üzerinde durulduğu gözlenmiştir. Oysa yükleme ve boşaltma istasyonlarının sayısı arttırıldığında, taşıma maliyetlerinin düşeceği, buna karşılık, yeni istasyonlar kuruldukça da sabit maliyetlerin artacağı açıktır. Bu durumda sabit maliyetlerle, değişken maliyetler arasında sağlanacak bir ödünleşmeyle daha ekonomik çözümler bulunması beklenebilir. Bu amaçla TYDYP, yükleme ve boşaltma istasyonu sayısının belirlenmesi ve bunların dairesel sisteme yerleştirilmesi problemi ile birleştirilerek genelleştirilmiştir. Daha sonra da temel model için geliştirilmiş olan genetik algoritma genelleştirilmiş probleme uyarlanarak, özel durumlara karşı gelen alt problemlerin çözümüyle elde edilen sonuçlardan daha iyi bütünlük sonuçlara ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tek yönlü dairesel yerleşim, İstasyon atama, Genetik Algoritma.

A GENETIC ALGORITHM BASED SOLUTION APPROACH TO GENERALIZED UNIDIRECTIONAL CIRCULAR LAYOUT PROBLEM

FERİŞTAH ÖZÇELİK

SUMMARY

Unidirectional circular layout problem (UDCLP) is an assignment problem in which n stations are assigned to n candidate locations on a unidirectional circular materials handling system so as to minimize the material handling costs. Although a few studies dealing with n L/U stations are also found in the course of the literature survey, a general trend in the modeling of this problem is to assume that each part enters and exits the system at a unique load/unload (L/U) station. Modeling and solution approaches to UDCLP are examined and a hybrid GA is developed to solve this basic problem at the very beginning of this dissertation. Better quality solutions are obtained by numerical experimentation on test problems taken from the literature.

Existing studies are mostly focused on two extreme cases, that is, on single and n L/U station unidirectional circular layout problems. Additionally an emphasis on handling costs is also observed in the literature. On the contrary an increase in the number of L/U stations would lead to a decrease in handling costs together with a parallel increase in fixed costs, leading to a break even point for a trade-off on the number of L/U stations by balancing fixed and variable costs. So the model is generalized by combining circular layout and allocation of L/U capability to stations and including an investigation feature for optimum number of L/U stations. Then the developed hybrid GA is adapted to the generalized model and even better solutions are obtained for the generalized problem.

Keywords: Unidirectional circular layout, Station allocation, Genetic Algorithms.

TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın ynlendirilmesi, yrtlmesi ve sonulandırılmasındaki teővik ve desteklerinden tr baőta danıőmanım Prof. Dr. A.Attila İŞLİER'e olmak üzere tez izleme komitesi yeleri Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN ve Yrd. Doç. Dr. Aydın SİPAHİOĞLU'na teőekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, çalıőmam süresince ilgi ve desteğini esirgemeyen eőim Nabi ÖZÇELİK'e ve kızım Glce'ye gösterdikleri sabır ve anlayıőtan ötürü teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
KISALTMALAR DİZİNİ	xv
1 GİRİŞ	1
2 TEK YÖNLÜ DAİRESEL YERLEŞİM PROBLEMİ.....	6
2.1 Tek Y/B İstasyonlu Tek Yönlü Dairesel Yerleşim Problemi	6
2.1.1 Eşit uzaklıklı TYDYP	10
2.1.2 Dengeli-eşit uzaklıklı olmayan TYDYP	10
2.1.3 Dengesiz-eşit uzaklıklı olmayan TYDYP.....	11
2.1.4 Özel durumlar	11
2.2 Tek Y/B İstasyonlu TYDYP'nin Modellenmesi	11
2.3 Tek Y/B İstasyonlu TYDYP İçin Geliştirilen Çözüm Yöntemleri.....	15
2.3.1 Kesin çözüm yöntemleri	16
2.3.2 Sezgisel yöntemler	22
2.4 n Y/B İstasyonlu Tek Yönlü Dairesel Yerleşim Problemi	29
2.4.1 Konveyör sistemi	29
2.4.2 Halka konveyör sistemi	31
2.4.3 Halka konveyör konusunda yapılan çalışmalar	35
2.4.4 Halka konveyör yerleşim problemi.....	37
3 GELİŞTİRİLEN MELEZ GENETİK ALGORİTMA.....	42
3.1 Çözümlerin Gösterimi.....	43
3.2 Başlangıç Popülasyonunun Türetilmesi.....	44

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.3 Uyum Değerinin Hesaplanması ve Seçim Mekanizması.....	44
3.4 Çaprazlama Operatörü	45
3.5 Mutasyon Operatörü	46
3.6 Kullanılan Melez GA'nın Genel Yapısı	47
3.7 GA'nın Melezlenmesinin Algoritmanın Performansı Üzerindeki Etkisi	48
3.8 Geliştirilen Algoritmanın Sınanması	50
3.8.1 Tek Y/B istasyonlu, eşit uzaklıklı TYDYP	51
3.8.2 Tek Y/B istasyonlu ENK-ENB ve ENK-TOP TYDYP.....	56
3.8.3 n Y/B istasyonlu TYDYP	61
4 DAİRESEL YERLEŞİM PROBLEMİNİN GENELLEŞTİRİLEREK MODELLENMESİ VE GENETİK ALGORİTMA İLE ÇÖZÜMÜ	64
4.1 Malzeme Aktarma ve Yerleşim Düzenlemesi	64
4.2 Y/B İstasyonu Sayısının ve Konumunun Önemi	65
4.3 Tek Yönlü Dairesel Yerleşim Probleminin Genelleştirilmesi Gereği	66
4.4 Genelleştirilmiş TYDYP'nin (gTYDYP) Modellenmesi	67
4.4.1 Varsayımlar.....	67
4.4.2 gTYDYP'nin matematiksel modeli	68
4.5 gTYDYP İçin Geliştirilen Genetik Algoritma.....	70
4.5.1 Yerleşim planının kromozomlarda gösterimi	70
4.5.2 Başlangıç popülasyonunun türetilmesi	71
4.5.3 Uyum fonksiyonu	74
4.5.4 gTYDYP'nin çözümünde genetik işlemler.....	80
4.6 Örnek Problem	81
4.7 Geliştirilen GA'nın Sınanması.....	83
5 SONUÇ VE ÖNERİLER.....	88
6 KAYNAKLAR DİZİNİ	93

İÇİNDEKİLER (devam)

EKLER

- Ek.1. Bal10-1 probleminin Altinel and Öncan'ın (2005) gevşetilmiş modeli ile çözümü için GAMS kodu
- Ek.2. Bal10-1 probleminin Bozer and Rim (1989) modelinin sıkı hali ile çözümü için GAMS kodu
- Ek.3. 20 büyüklüğündeki dengeli TYDYP için eniyi çözümden ve alt sınırdan sapma yüzdeleri ve işlem süreleri
- Ek.4. 20 büyüklüğündeki dengesiz TYDYP için eniyi çözümden ve alt sınırdan sapma yüzdeleri ve işlem süreleri
- Ek.5. Pahalı maliyet durumunda UnBal10-1 probleminin gTYDYP için önerilen model ile çözümü için GAMS kodu

ÖZGEÇMİŞ

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Taşımaların OYA ile yapıldığı tek ve çift sıra yerleşimler.....	3
1.2 Taşımaların konveyör ile yapıldığı tek ve çift sıra yerleşimler	3
1.3 Öbeklenmiş ve eğrisel yerleşim.....	4
1.4 Tek Y/B istasyonlu tek yönlü dairesel yerleşim	4
2.1 Tek Y/B istasyonlu tek yönlü dairesel yerleşim	7
2.2 9 istasyonlu halka konveyör sistemi (Altinel and Öncan, 2005)	8
2.3 8 istasyona hizmet veren tek yönlü robot kolu (Altinel and Öncan, 2005)	8
2.4 6 istasyonlu ve 4 araçlı bir OYA sistemi (Altinel and Öncan, 2005)	9
2.5 Tek yönlü dairesel malzeme aktarma sistemi	12
2.6 Üç istasyon arasındaki öncelik ilişkisi.....	20
2.7 i, j, k, l, m, n, o, p iş istasyonlarının değiştirilmesi	25
2.8 (i, j, k, l) iş istasyonu grubunun yeniden atanması	26
2.9 Tek yönlü açık konveyör sistemleri.....	30
2.10 Tek yönlü halka konveyör sistemleri.....	31
2.11 Halka konveyör sistemi (Üretim düzeni).....	32
2.12 Halka konveyör sistemi (Genel düzen).....	33
2.13 Konveyör bölümü i, S_i	34
2.14 Dört konum ve dört iş istasyonlu bir örnek	39
2.15 (a) Uzaklık matrisi (cm) (b) Akış matrisi	39
3.1 TYDYP için bir çözümün genetik gösterimi	44
3.2 TAŞI sezgiseli kullanan melez mutasyon.....	47
3.3 İkili değişim mutasyon operatörü	49
3.4 Komşu değişim mutasyon operatörü	49
3.5 Araya ekleme mutasyon operatörü	49
3.6 Melez GA'nın farklı mutasyon operatörleri ve oranları için yakınsama grafiği ..	50

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.7 ENK-ENB ve ENK-TOP ölçütleri arasındaki ödünleşme.....	58
4.1 10 istasyonlu tek yönlü dairesel malzeme aktarma sistemi için örnek kromozom	71
4.2 UnBal10_1 problemi için rassal olarak türetilen bir kromozom	75
4.3 UnBal10_1 problemi (Y/B istasyonu maliyetinin pahalı olduğu durum) için uyum değerinin kuşaklar boyunca değişimi	82

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Farklı konveyör hızlarında $\sum \sum f * d$ ve SF_{sys} değerlerinin karşılaştırılması	40
3.1 Alt sınırdan ortalama sapma yüzdeleri: Dengeli durum	53
3.2 Alt sınırdan ortalama sapma yüzdeleri: Dengesiz durum	54
3.3 Çözümün bulunduğu ortalama kuşak sayısı ve çözüm süresi (sn)	55
3.4 Parçaların rotaları	57
3.5 Küçük problemler için sonuçlar	60
3.6 50-tezgah 10-parça problemi için sonuçlar	61
3.7 Akış matrisi (parça/dakika)	62
3.8 Uzaklık matrisi (cm)	62
3.9 1. tip ve 2. tip problemler için GA sonuçları	63
4.1 k 'nın alabileceği değerler	73
4.2 İncelenen kromozom için iş istasyonları arasındaki uzaklık matrisi	76
4.3 UnBal 10_1 problemi için iş istasyonları arasındaki akış matrisi	76
4.4 Parçalar için talep, ilk işleminin ve son işleminin olduğu iş istasyonu bilgileri	77
4.5 UnBal 10_1 problemi için düzeltilmiş akış matrisi	78
4.6 Y/B istasyonu maliyetleri	80
4.7 UnBal10_1 problemi için melez GA kullanılarak elde edilen sonuçlar	83
4.8 Pahalı maliyet durumunda UnBal10_1 problemi için GAMS ve GA sonuçları	83
4.9 Toplam maliyetler ve iyileşme yüzdeleri (ucuz Y/B istasyonu)	85
4.10 Toplam maliyetler ve iyileşme yüzdeleri (orta maliyetli Y/B istasyonu)	85
4.11 Toplam maliyetler ve iyileşme yüzdeleri (pahalı Y/B istasyonu)	86
4.12 Çözüm süresi (sn)	87
5.1 Tek ve n Y/B istasyonlu TYDYP için melez GA ile çözümde sağlanan iyileşmeler	89

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.2 gTYDYP için melez GA ile çözümde sağlanan iyileşmeler.....	90

KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
B	Boşaltma
DSP	Doğrusal Sıralama Problemi
EGA	Evrimsel Gelişim Algoritması
ENK-ENB	Enbüyük fazladan tur sayısının enküçülenmesi
ENK-TOP	Toplam fazladan tur sayısının enküçülenmesi
EÜS	Esnek Üretim Sistemleri
GA	Genetik Algoritmalar
GSP	Gezgin Satıcı Problemi
gTYDYP	Genelleştirilmiş Tek Yönlü Dairesel Yerleşim Problemi
KAP	Kareli Atama Problemi
OYA	Otomatik Yönlendirilmiş Araç
TYDYP	Tek Yönlü Dairesel Yerleşim Problemi
Y	Yükleme
Y/B	Yükleme/Boşaltma

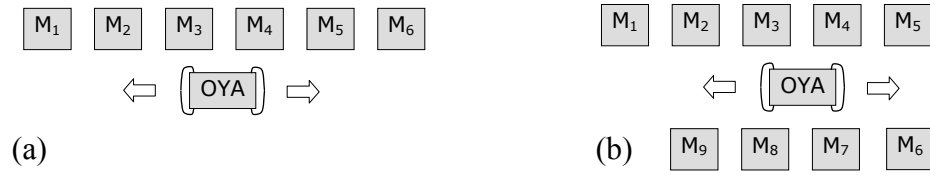
1 GİRİŞ

İnsan faaliyetlerinin en önemli ve vazgeçilmez fonksiyonlarından biri olan üretim, kişilerin yaşamı için gereken temel araçları sağlarken, ulusal servetin de kaynağını oluşturmaktadır (Hitomi, 1996). Üretim alanındaki mühendis ve yöneticiler, yeni mal ya da hizmet geliştirmek veya mevcutları üretmek için yeni yollar bulmak suretiyle, kendilerini kanıtlamanın da ötesinde, hem topluma yeni değerler kazandırmakta, hem de işletmelerinin gelişip korunmasını güvence altına almaktadırlar (Barlett, et al., 1999). Altmışlı yıllardan sonra ekonomideki yavaşlamanın işletmelere yansımaları, büyüme hızlarının düşüp, enerji maliyetlerinin artması, imalatçılara kapasite-talep dengesinin sağladığı üstünlüğü ve buna bağlı olarak da üretilecek her malın satılması olanağını kaybettirmiş, H. Ford'un "Siyah olmak koşuluyla, her renk araba üretebilirim" sözünü, tamamen geçersiz hale getirmiştir. Bilişim ve ulaşım alanlarında yaşanan gelişmeler de, rekabetin boyutlarını artırmış, özellikle yirminci yüzyılın sonlarına doğru uluslararası rekabetin şiddetlenmesi, üretimde önemli değişikliklerin yapılmasını zorunlu hale getirmiştir. İşletmeler artık rakiplerinden daha hızlı olmaya, kalite taleplerini en üst düzeyde karşılamaya ve rekabetçi fiyatlarda satabilecek bir maliyetle üretmeye, daha çok önem vermeye başlamışlardır (Tompkins, et al., 1996).

Artan ve keskinleşen uluslararası rekabet, maliyet, kalite, teslim hızı ve güvenilirlik gibi özellikleri sorgulanır hale getirmiş, kısacası küresel ekonomide, son yirmi yılın en belirgin değişimi, gücün üreticiden müşteriye geçmesi olmuştur (Seifoddini and Tjahjana, 1999). Bu süreç içinde, üretimden beklenen artık sadece imalat değil, daha çeşitli ürünlerin daha küçük ölçeklerde daha kaliteli olarak üretilmesidir. Böyle bir piyasa ortamında, müşteri talepleri giderek çeşitlenirken, sipariş miktarları azalmaktadır. Bu da, yüksek çeşitlilik gösteren ürün karmalarının rekabetçi fiyatlarla satılabilecek bir maliyette üretilmesini gerektirmektedir. Koşulların bu şekilde değişmesi, sürece göre düzenlenmiş, parti tipi imalat yapan geleneksel üretim sistemlerini yetersiz duruma düşürmektedir (Sofianopoulou, 1999). Mevcut kuruluşlar, yeni koşullar altında varlıklarını sürdürebilmek için ürün çeşitlerini arttırmak, kaliteyi yükseltmek, tasarım ve piyasaya çıkarma sürelerini kısaltmak zorunda kalmaktadır. Esnek Üretim Sistemleri (EÜS), bu güçlüğün -verimliliği düşürmeksizin- aşılmasını sağlayan çözümlerden birisidir (Warndecke, 1985).

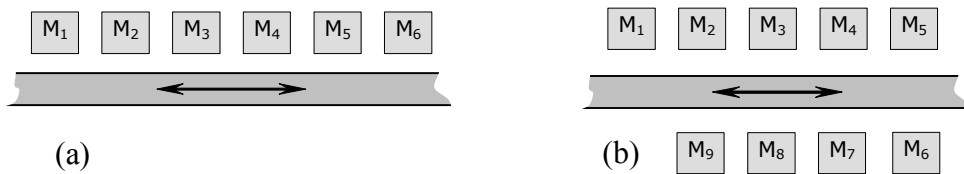
EÜS, bir malzeme aktarma sistemiyle birbirine bağlanmış, Bilgisayar Sayısal Denetimli (CNC) ya da Sayısal Denetimli (NC) tezgahlarla bunların işleyişini kontrol eden bir bilgisayar sisteminden oluşan ve birbirinden farklı parçalar imal edebilen bir üretim sistemi olarak tanımlanabilir. Bu sistemlerin tasarımında temel problemlerden birisi, tezgah yerleşiminin belirlenmesidir (Leung, 1994). Yerleşim düzeni, bütün sistemin verimliliğini önemli bir ölçüde etkilediğinden ve bunun daha sonra değiştirilmesi çok pahalıya mal olduğundan etkin bir yerleşim tasarımı, EÜS uygulamalarında kritik bir rol oynar (Rajasekharan, et al., 1998). İyi tasarlanmış bir tesis, üretim çevrim süreleri ve maliyetlerini azaltarak, etkin bir malzeme aktarımı ve kısa taşıma süreleri sağlar (Francis, et al., 1992). Böyle tesislerde, malzeme ve ürünü oluşturan diğer birimlerin işlem görecekları noktalar arasındaki akışların ve yapılan işlerin izlenmesi daha kolay olmaktadır (Eastman, 1987). Sonuçta *tam zamanında üretim* uygulamalarıyla tutarlı bir şekilde, zamanında teslim performansı artar ve üretim yönetimi daha etkin hale gelir (Schonberger, 1984). Ayrıca atölyedeki malzeme israfı ve yanlış kullanımı ile ürün kalitesini olumsuz yönde etkileyebilen taşımalar azalacağından ürün kalitesi artar (Tompkins, et al., 1996). Sonuçta iyi tasarlanmış bir malzeme aktarma sistemiyle girdi ve çıktı istasyonlarında oluşan kuyruklar daha kısa olur ve süreç içi stok düzeyleri ile bunların elde tutma maliyetleri azalma eğilimi gösterir (Sims, 1991).

Malzeme aktarma sistemleri, yüksek kuruluş ve işletim maliyetleri nedeniyle EÜS'nde özel bir yere sahiptir. EÜS'nde tezgah yerleşimi, genellikle kullanılan malzeme aktarma sistemine bağlı olarak belirlenmektedir (Heragu and Kusiak, 1988). Uygulamada en sık karşılaşılan malzeme aktarma sistemleri, aktarma robotları, otomatik yönlendirilmiş araçlar (OYA) ve köprülü robotlar olmaktadır. Bu sistemlere bağlı olarak en basit yerleşim tipleri tek sıra yerleşim (Şekil 1.1a) ve çift sıra yerleşimdir (Şekil 1.1b).



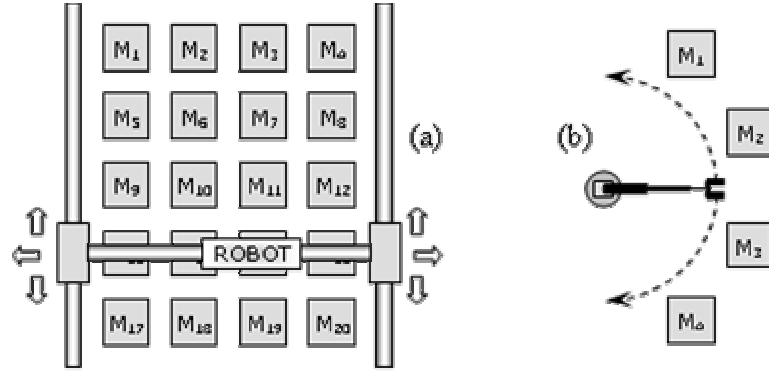
Şekil 1.1 Taşımaların OYA ile yapıldığı tek ve çift sıra yerleşimler

Şekil 1.1a ve b’de bir OYA, düz hat şeklinde yerleştirilmiş tezgahlar arasında parça taşımaktadır. Bu şekilde tek veya çift sıralı yerleşmiş tezgahlarda malzeme aktarımı, konveyörlerle de yapılabilir (Şekil 1.2a ve b). Tek sıra yerleşimde akış tipi düzenlemenin avantajlarından yararlanabilmek için tezgahlar, bu tezgahlarda işlem görecektüm parçaların işlem sıralarına mümkün olduğunca benzer şekilde düzenlenir. Bu avantajlar, düşük malzeme taşıma maliyeti ve süresi, tek yönlü akış, gecikmelerde azalma ve konveyörlerin kullanılabilmesi olarak sıralanabilir. Ancak, tek sıra yerleşimde farklı işlem sıralarına sahip birden fazla parça üretilmesi durumunda akış her zaman tek yönlü olmayabilir ve akış tipi düzenlemenin avantajlarından daha az yararlanılabilmektedir (Hassan, 1994). Eğer tezgahlar tek sıra yerleşimdeki gibi malzeme aktarma yolunun bir tarafında değil de her iki tarafında yer alırsa, yerleşim çift sıra yerleşim olarak isimlendirilir (Kouvelis, et al., 1995).

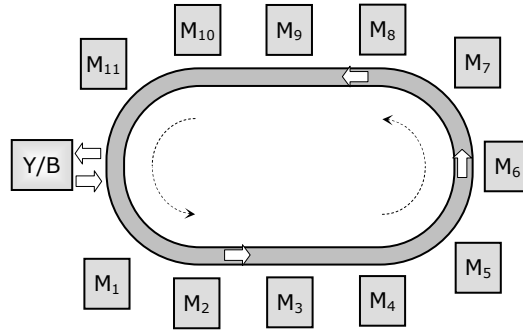


Şekil 1.2 Taşımaların konveyör ile yapıldığı tek ve çift sıra yerleşimler

Nearchou (2006), diğer yerleşim şekillerini, öbeklenmiş yerleşim (Şekil 1.3a), eğrisel yerleşim (Şekil 1.3b) ve dairesel yerleşim olarak sıralamaktadır (Şekil 1.4). Şekil 1.3a’da gösterilen köprülü robota dayalı yerleşim, yerleştirilecek tezgahlar için ayrılan alan kısıtlı olduğunda kullanılır. Şekil 1.3b’de tezgahlar arasında parça taşımak için aktarma robotu kullanılmaktadır. Şekil 1.4 ise malzeme aktarma aracının kapalı çevrimde hareket edebildiği bir dairesel yerleşimi göstermektedir.



Şekil 1.3 Öbelenmiş ve eğrisel yerleşim



Şekil 1.4 Tek Y/B istasyonlu tek yönlü dairesel yerleşim

Dairesel malzeme aktarma sistemi, her iş istasyonunu tam bir kere ziyaret ederek tüm iş istasyonlarını birbirine bağlar. Malzeme aktarımı tek bir yönde (saat yönünde ya da saat yönünün tersinde) sağlanmaktadır. Sisteme yükleme istasyonundan giren her parça, rotasında belirlenen sıraya göre gerekli iş istasyonunda işlem görmektedir. Bir istasyonda işi biten parça, bir sonrakine, tek yönlü dairesel bir malzeme aktarma sistemiyle iletilmektedir. Malzeme aktarma sistemi, elle çekilen arabalar, motorlu araçlar, istif araçları veya otomatik yönlendirilmiş araçlar olabileceği gibi, bu amaçla halka şeklindeki konveyörler de kullanılabilir. İşlem göreceğ parçanın gideceği istasyon o sırada meşgul ise parça, akışı engellemek için ya ilgili istasyonun girişindeki tampon stok bölgesinde sırası gelene kadar beklemekte veya istasyonu boş buluncaya kadar fazladan turlar atmaktadır. İşlemi biten parçalar boşaltma istasyonunu kullanarak sistemden çıkmaktadır.

Malzeme aktarma sistemleri, tek veya iki yönlü olarak çalışabilmektedir. İki yönlü malzeme aktarma yolları, tek yönlü yollardan daha yüksek kuruluş maliyeti ve daha hassas kontrol gerektirdiğinden (akışlar daha karmaşık) daha az tercih edilmektedir (Tansel and Bilen, 1998). Kuramsal açıdan da tek yönlü malzeme aktarma sistemleri kadar ilgi çekici olmamıştır (İki yönlü dairesel yerleşim problemi ile ilgili literatürdeki tek çalışma Bozer and Rim'e (1996) aittir). Tek yönlü dairesel malzeme aktarma sistemleri, bütün istasyonları birbirine bağlamak için az sayıda malzeme aktarma bağlantısı gerektirdiğinden ve yüksek malzeme aktarma esnekliği sağladığından diğer düzenlemelere göre daha düşük başlangıç yatırım maliyeti gerektirir. Herhangi bir istasyon çiftini birleştiren en az bir yol olduğundan tek yönlü dairesel malzeme aktarma sistemi, sistemdeki üretimi çizelgelenen ürün tipleri için bütün malzeme aktarma gereksinimlerini karşılama yeteneği ve yeni parça üretimi veya süreç değişikliklerinde kolaylıkla uyum sağlama yeteneği gibi esneklikler sağlar (Kouvelis and Kim, 1992). Dairesel malzeme aktarma sistemlerinin yaygın kullanımına bağlı olarak tek yönlü dairesel yerleşim, esnek üretim ortamlarında oldukça fazla kullanılmaktadır (Afentakis, 1989).

Bu çalışmada, tek yönlü dairesel yerleşim problemi ele alınmıştır. İzleyen bölümde, tek yönlü dairesel yerleşim probleminin yapısı, türleri ve bu problemin çözümü için kaynaklarda kullanılan yöntemler tartışılmaktadır. Üçüncü bölümde, tek yönlü dairesel yerleşim probleminin çözümü için geliştirilen melez genetik algoritma tanıtılmakta ve önerilen algoritmanın performansını test etmek amacıyla yapılan deneysel çalışmaların sonuçları yer almaktadır. Algoritma, hem tek yükleme/boşaltma (Y/B) istasyonlu hem de n Y/B istasyonlu tek yönlü dairesel yerleşim problemlerine uygulanmıştır. Dördüncü bölümde, Y/B istasyonu sayısının ve konumunun taşıma maliyetleri üzerindeki etkisine dikkat çekilerek, Y/B istasyonu yerleşimi problemi ile iş istasyonu yerleşimi probleminin birlikte ele alınmasının önemi açıklanmaktadır. Bu amaçla, genelleştirilmiş tek yönlü dairesel yerleşim problemi için bir model önerilmekte ve bu problemi çözecek şekilde düzenlenen melez genetik algoritma ile yapılan deneysel çalışmaların sonuçları verilmektedir. Sonuç ve öneriler bölümünde ise yapılan çalışma sonrasında varılan sonuçlar özetlenip değerlendirilmekte ve ileride bu alanda yapılabilecek çalışmalar için önerilen konu başlıkları sıralanmaktadır.

2 TEK YÖNLÜ DAİRESEL YERLEŞİM PROBLEMİ

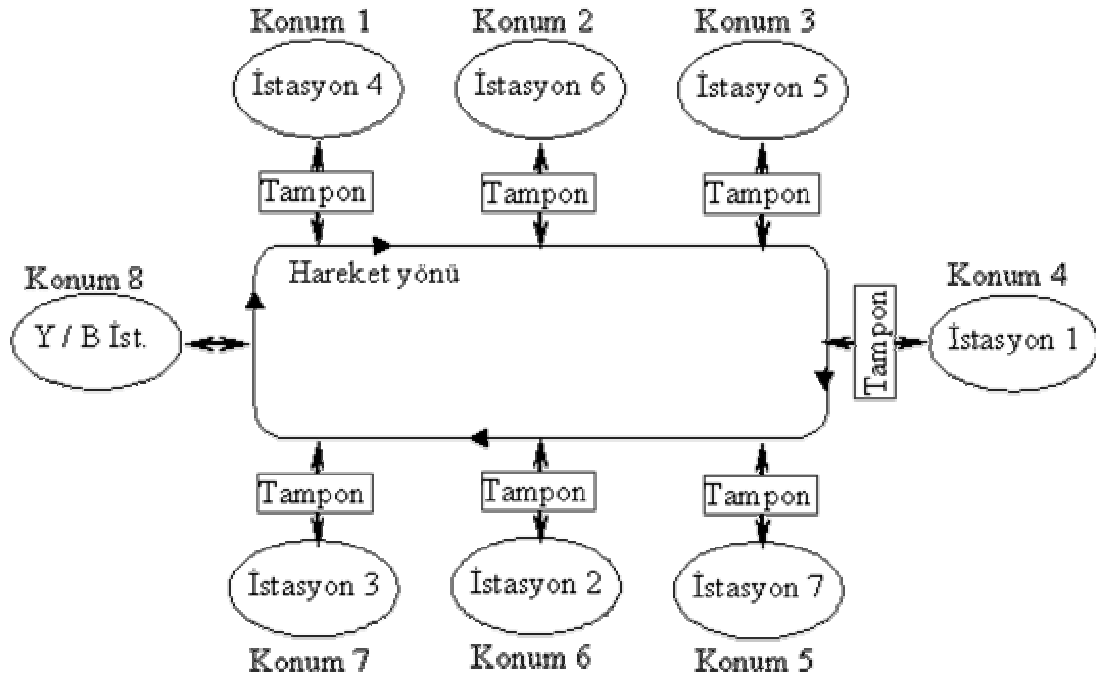
Tek yönlü dairesel yerleşim problemi, yükleme ve boşaltma istasyonu sayısının ve konumunun bilindiği varsayımı altında çözülmektedir. Kaynaklarda tek yönlü dairesel yerleşim probleminin sistemin bütününde bir veya iş istasyonu sayısı kadar yükleme/boşaltma (Y/B) istasyonu bulunmasına göre iki uç durum için ele alındığı görülmektedir. Bu iki sistemdeki iş istasyonu yerleştirme problemi bu bölümün konusunu oluşturmaktadır.

2.1 Tek Y/B İstasyonlu Tek Yönlü Dairesel Yerleşim Problemi

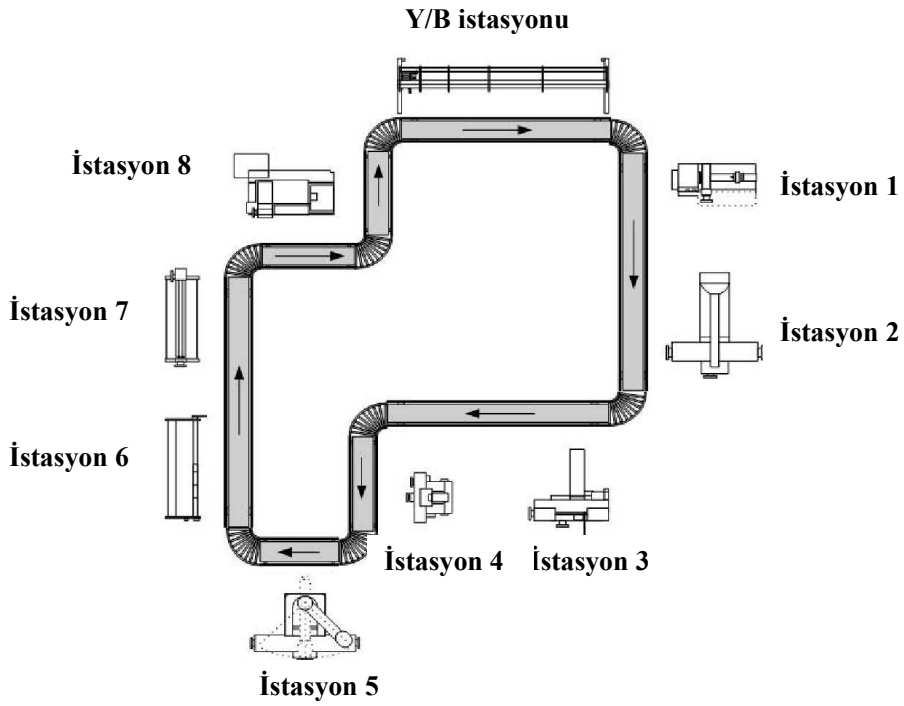
Bir Y/B istasyonu ve n konumun olduğu bir tek yönlü dairesel malzeme aktarma sistemi için $1 < i, j < n$ iken $i < j$ ise i konumu ileri sırada, j konumu geri sırada olarak tanımlanır (Lee, et al., 2001). Diğer bir deyişle, malzeme aktarma aracı Y/B istasyonundan ayrıldıktan sonra i konumundaki iş istasyonuna j konumundaki iş istasyonundan önce ulaşacaktır. Eğer ileri hareket söz konusu ise parça, dairesel sistemdeki ileri sıradaki istasyondan geri sıradaki istasyona hareket eder. Böylece malzeme aktarma aracı, dairesel sistemi yalnızca bir kere dolaşır. Geri hareket durumunda ise malzeme aktarma aracı, Y/B istasyonundan çıkar, parçayı almak için geri istasyona gider, Y/B istasyonunu geçer, parçayı ileri istasyona bırakır ve sonunda Y/B istasyonuna döner. Böylece, malzeme aktarma aracı parçanın sürecinin tamamlanması için dairesel sistemi iki kere dolaşır. Örneğin Şekil 2.1’de gösterilen tek yönlü dairesel yerleşim için istasyon 4’den (ileri) 6’ya (geri) malzeme akışı ileri akış iken istasyon 6’dan (geri) 4’e (ileri) akış geri akıştır.

Tek yönlü dairesel yerleşimin en basit şekli, parçanın bir iş istasyonundan diğerine hareketinin, malzeme aktarma aracının dairesel sistemi yalnızca bir kere dolaşmasıyla gerçekleştirilebilmesidir. Bu ileri hareket yalnızca, istasyonlar dairesel sisteme parçanın rotasındaki sırayla yerleştirildiği zaman mümkündür. İş istasyonları farklı sırayla yerleştirildiğinde işlenen parçanın daha fazla hareket etmesi gerekecek, parça rotasındaki işlemler tamamlanıncaya kadar da Y/B istasyonundan birkaç kez geçmek zorunda kalacaktır. Malzeme taşıma maliyetlerinin genellikle taşıma uzaklıkları ya da süreleri ile orantılı olduğu varsayımı nedeniyle tek yönlü dairesel

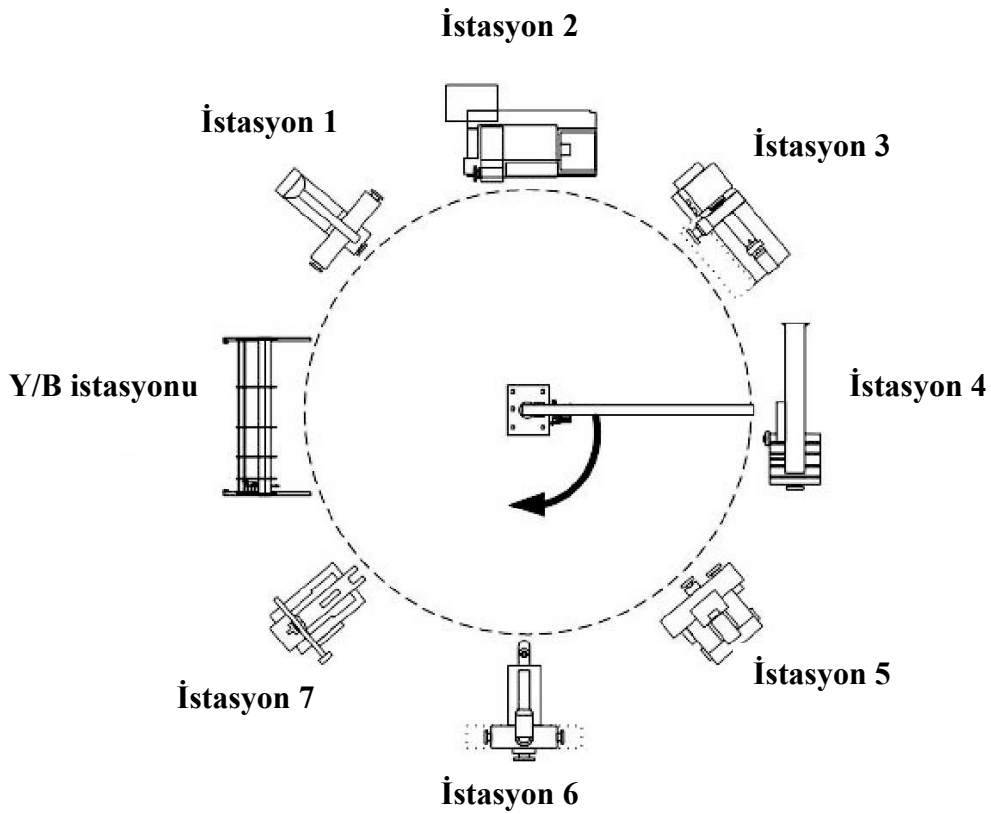
yerleşimde geri hareketi enküçükleme önemli. Malzeme taşıma maliyetlerini enküçükleyecek şekilde n istasyonun tek yönlü dairesel malzeme aktarma sistemi üzerindeki n konuma atanması problemi Tek Yönlü Dairesel Yerleşim Problemi (TYDYP) olarak isimlendirilir. TYDYP, tek bir yönde hareket eden kapalı çevrim konveyör hatlarının çevresine iş istasyonu yerleşiminde (Şekil 2.2), tek yönde hareket eden robot kollarının kullanıldığı esnek üretim sistemlerinde (Şekil 2.3) ve tek yönlü kapalı bir çevrimde hareket eden OYA sistemlerinde (Şekil 2.4) karşımıza çıkmaktadır (Altınel and Öncan, 2005).



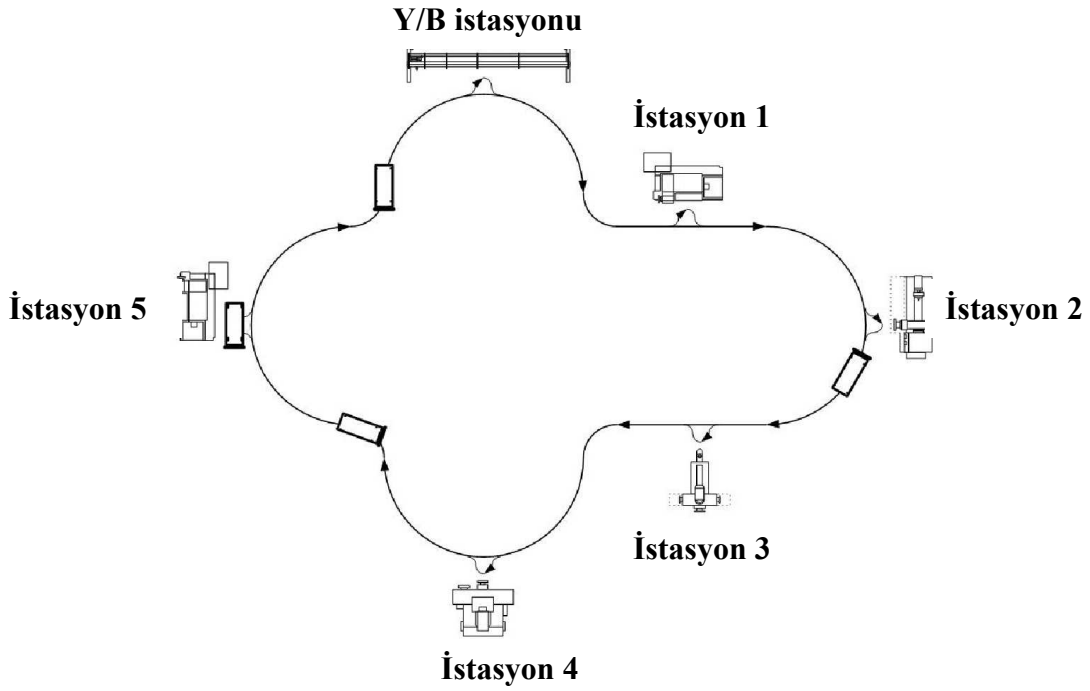
Şekil 2.1 Tek Y/B istasyonlu tek yönlü dairesel yerleşim



Şekil 2.2 9 istasyonlu halka konveyör sistemi (Altınel and Öncan, 2005)



Şekil 2.3 8 istasyona hizmet veren tek yönlü robot kolu (Altınel and Öncan, 2005)



Şekil 2.4 6 istasyonlu ve 4 araçlı bir OYA sistemi (Altinel and Öncan, 2005)

Bir daire etrafındaki önceden belirlenmiş konumların kümesi, akış matrisi ve uzaklık matrisi verildiğinde iş istasyonu yerleştirme problemi, iyi bilinen Kareli Atama Probleminin (KAP) özel bir şeklidir (Cela, 1998). Amaç, istasyonlar arasındaki akış miktarı ile bunların taşınma mesafesi çarpımıyla (kısaca $\sum \sum f * d$) belirlenen toplam maliyeti enküçükleyecek şekilde her istasyonun aday konumlardan birisine atanmasıdır. Yani amaç, f_{kl} belirli bir zaman diliminde iş istasyonu k 'dan iş istasyonu l 'ye akış miktarı, d_{mn} de m konumundan n konumuna uzaklık iken x_{km} iş istasyonu k , m konumuna atanırsa 1, diğer durumda 0 olan bir değişken olarak tanımlandığında $\sum \sum f * d = \sum \sum_{k,l} f_{kl} d_{mn} x_{km} x_{ln}$ değerini enküçükmektir. Bu problem her bir konum çifti için $d_{mn} + d_{nm}$ değeri dairenin çevresine eşit olduğundan KAP'nin özel bir şeklidir.

TYDYP, akış matrisinin yapısına göre dengeli/dengesiz TYDYP, uzaklık matrisinin yapısına göre de eşit uzaklıklı/eşit uzaklıklı olmayan TYDYP olarak gruplandırılabilir.

2.1.1 Eşit uzaklıklı TYDYP

Aday konumlar arasındaki uzaklıklar eşittir. Bu durumda istasyonlar arasındaki uzaklıkların gerçek değerleri önemli değildir. Genellikle komşu istasyonların birbirlerinden bir birim uzaklıkta olduğu varsayılır. Böylece dairenin çevresinin istasyon sayısına (n) eşit olduğu kabul edilir.

2.1.2 Dengeli-eşit uzaklıklı olmayan TYDYP

Maddenin korunumu kanunu, her istasyon için geçerli olmaktadır. Bir başka deyişle, bir istasyona gelen parça sayısı (gelen akış), bu istasyondan çıkan parça sayısına (çıkan akış) eşittir. Dengeli TYDYP, genellikle istasyonlara parça eklemek veya istasyonlardan parça çıkarmak için dışarıdan yapılacak herhangi bir kesintiye izin verilmeyen otomatik üretim ortamlarına özgüdür (Kıran, et al., 1992). Dengesiz akış da arızalı parçaların istasyonlardan elle atıldığı veya montaj/demontaj işleminin olduğu durumlarda söz konusudur (Kıran and Karabatı, 1993). Dengelilik varsayımı birden fazla Y/B istasyonun olduğu sistemlerde geçerli olmayabilir (Tansel and Bilen, 1998).

Bozer and Rim (1989) ve daha sonra da Kıran, et al. (1992) parça akışının dengeli olduğu durumda, istasyonların sırası değişmeden konumlarının değiştirilmesiyle amaç fonksiyonunun değerinin değişmediğini göstermiştir.

$$R(i) = \sum_{k=1}^n f_{ki} \quad \text{tüm iş istasyonlarından iş istasyonu } i \text{ 'ye yapılan toplam akışı,}$$

$$C(i) = \sum_{k=1}^n f_{ik} \quad \text{iş istasyonu } i \text{ 'den diğer tüm iş istasyonlarına yapılan toplam akışı}$$

gösterebilir. İş istasyonu i , akış yönünde küçük bir δ uzunluğu kadar kaydırılsın ($\delta > 0$). Bu durumda amaç fonksiyonunun değeri $\delta R(i)$ kadar artarken $\delta C(i)$ kadar azalacaktır. Akış dengeli olduğundan yani $R(i) = C(i)$ olduğundan bu artış ve azalış birbirini götürecektir ve amaç fonksiyonunun değeri değişmeyecektir. Aynı iddia iş istasyonu i 'nin akış yönünün tersine yapılacak kaydırmaları için de geçerlidir. Bu sonuç, iş istasyonu i 'nin yapılacak kaydırmalar sonrasında kaydırma öncesindeki ile aynı istasyonlar arasında kaldığı herhangi bir $\delta > 0$ için geçerlidir.

O halde akış matrisi dengeli olduğunda istasyonların konumları değil sırası önemlidir ve dengeli-eşit uzaklıklı olmayan TYDYP, eşit uzaklıklı TYDYP'ne eşdeğerdir. Her iki problem eşdeğer olduğundan birisi için geçerli olan model diğeri için de geçerli olacaktır.

2.1.3 Dengesiz-eşit uzaklıklı olmayan TYDYP

Aday konumların dairesel malzeme aktarma sistemi üzerinde eşit uzaklıklarla yer almadığı ve iş istasyonlarından bir veya daha fazlasında akışın korunmadığı durumlarda TYDYP, KAP olarak modellenmektedir. Bu durumda, araştırmacılar alt sınır ve sezgisel yöntemler geliştirilmesi üzerinde odaklanmıştır.

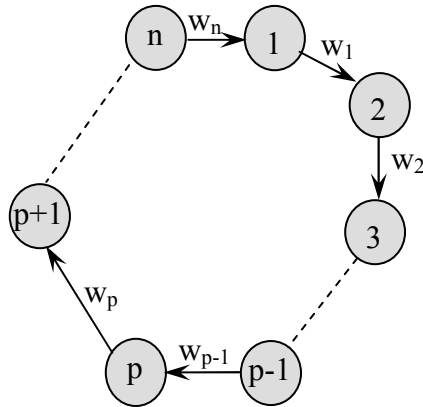
2.1.4 Özel durumlar

Akış matrisi simetrik olduğunda bütün yerleşimler en iyidir (Bozer and Rim, 1989). Yani iş istasyonlarının hangi sırayla yerleştiği önemli değildir. Dolayısıyla çözülmesi gereken herhangi bir problem de yoktur.

Kıran and Karabatı (1993) parçaların her işlemten sonra Y/B istasyonuna taşındığı durumda TYDYP'nin polinom zamanlı çözülebildiğini belirtmişlerdir. Burada yalnızca Y/B istasyonundan iş istasyonlarına, iş istasyonlarından da Y/B istasyonuna akış söz konusudur.

2.2 Tek Y/B İstasyonlu TYDYP'nin Modellenmesi

Tek yönlü dairesel bir malzeme aktarma sistemiyle birbirine bağlanmış konumlara yerleştirilecek istasyonların kümesi $N = \{1, 2, \dots, n\}$ olsun. Bu istasyonlardan birisi, Y/B istasyonunu gösterebilir. F ise $n \times n$ boyutundaki bir akış matrisi olsun. F matrisinin (i, j) . elemanı f_{ij} , belirli bir zaman diliminde istasyon i 'den istasyon j 'ye taşınan ortalama parça sayısını gösterebilir. Bir istasyondan kendisine akış olmayacağı için $f_{ii} = 0$ 'dır. Akış matrisi, parça rotalarından ve bu parçaların dönemlik üretim miktarlarından hesaplanmaktadır. Üzerinde tanımlı n konumu olan tek yönlü dairesel malzeme aktarma sistemi, n düğümlü bir devre şeklinde modellenenebilir (Şekil 2.5). Düğümler saat yönünde 1'den başlayarak n 'e kadar numaralandırılmıştır.



Şekil 2.5 Tek yönlü dairesel malzeme aktarma sistemi

w_t , $(t, t+1)$ yayının uzunluğunu gösterebilir. Bir başka deyişle, w_t , t ile $t+1$ konumu arasındaki mesafedir. Dairesellik nedeniyle burada $n+1$ konumu, konum 1'i ifade etmektedir. O halde i konumundan j konumuna uzaklık, d_{ij} , aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$d_{ij} = \begin{cases} \sum_{t=i}^{j-1} w_t & i < j \\ \lambda - \sum_{t=j}^{i-1} w_t & i > j \end{cases}$$

Burada λ , dairesel sistemin uzunluğunu (çevresini) gösteren bir sabittir.

$\sum_{t=1}^n w_t = \lambda$ ve d_{ij} uzaklığı aşağıdaki özellikleri taşımaktadır:

- 1) $d_{ij} = 0$ $i, j = 1, \dots, n; i = j$
- 2) $d_{ik} + d_{kj} \geq d_{ij}$ $i, j, k = 1, \dots, n; i \neq j \neq k$
- 3) $d_{ij} + d_{ji} = \lambda$ $i, j = 1, \dots, n; i \neq j$
- 4) $d_{ij} \neq d_{ji}$ eğer $d_{ij} \neq \lambda/2$ $i, j = 1, \dots, n; i \neq j$

n iş istasyonunun n konuma, her konumda bir istasyon olacak şekilde atanması olarak tanımlanan n istasyonun yerleşimi, $\pi = (\pi_1, \dots, \pi_n)$ permütasyon vektörü ile gösterilebilir. π_i , i konumuna atanan iş istasyonunun numarasını göstermektedir. Bu

tanımlamalardan sonra TYDYP, uygun amaç fonksiyonunu enküçükleyecek şekilde her bir iş istasyonunun aday konumlardan sadece birisine atanması olarak tanımlanabilir. İş istasyonlarının konumlara atanmasında dört tip amaç güdülebilmektedir:

- 1) Toplam *taşıma yükünün* (bütün istasyonlar arasındaki akış miktarı ile bunların taşıma mesafesi çarpımı) enküçüklenmesi,
- 2) Birim zamanda Y/B noktasından geçen toplam parça sayısının enküçüklenmesi,
- 3) Her bir parça için en büyük fazladan tur sayısının enküçüklenmesi (ENK-ENB TYDYP),
- 4) Sistemdeki bütün parçalar için toplam fazladan tur sayısının enküçüklenmesi (ENK-TOP TYDYP).

Bozer and Rim (1989), Kıran, et al. (1992) ve Kıran and Karabatı (1993), Π bütün mümkün yerleşimlerin kümesi iken, ilk amaç altında TYDYP'nin KAP haline geldiğini göstermişlerdir. İlk amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde gösterilebilir:

$$\min_{\pi \in \Pi} c_1(\pi) = \min_{\pi \in \Pi} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{\pi_i \pi_j} d_{ij} \quad (1)$$

TYDYP'ni ikinci amaç fonksiyonu ile modellemek için Kouvelis and Kim (1992) Y/B istasyonundan geçen parça sayısını belirleyen aşağıdaki yardımcı fonksiyonu tanımlamıştır.

$$I(i, j) = \begin{cases} 1 & i > j \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (2)$$

Eğer i konumu j konumundan sonra ise istasyon π_i 'den istasyon π_j 'ye aktarılacak parçalar Y/B istasyonundan geçmek zorundadırlar. Şekil 2.5'deki malzeme aktarma sisteminde eğer istasyon p 'den n 'e akış olursa parçalar Y/B istasyonundan geçmeyecektir. Ancak tersi durumda yani n 'den p 'ye akışın olması durumunda parçaların Y/B istasyonundan geçmeleri gerekmektedir. İkinci amaç aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\min_{\pi \in \Pi} c_2(\pi) = \min_{\pi \in \Pi} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{\pi_i \pi_j} I(i, j) \quad (3)$$

Hareket yönünde olan akışlar amaç fonksiyonunun değerini değiştirmeyeceği için, ikinci amaç altında TYDYP çözümlenirken sadece hareket yönünün tersinde gerçekleşen akış miktarlarını dikkate almak yeterlidir.

Bu iki amaç, varsayılan işletim stratejisi altında (tüm parçaların sisteme giriş ve çıkışları sadece tek bir Y/B istasyonundan gerçekleştirilmektedir) birbirine eşdeğerdir (Kouvelis and Kim, 1992). Dengeli akış durumunda da aralarında aşağıda belirtilen ilişki vardır (Altinel and Öncan, 2005):

$$c_1(\pi) = \lambda c_2(\pi) \quad (4)$$

TYDYP'ni üçüncü ve dördüncü amaç altında modellemek için parçaların işlem sıralarının (rotalarının) dikkate alınması gerekir (ilk iki amaç fonksiyonunda, rota ve talep bilgilerinden türetilen akış matrisi kullanıyordu). TYDYP'nde $N = \{1, \dots, n\}$ kümesine ait n adet iş istasyonunun dairesel malzeme aktarma sistemi üzerindeki n konuma yerleştirilmesi problemi ile ilgileniyoruz. Y/B istasyonunun konumu sabit ve önceden belirlenmiş 0 konumudur. $P = \{1, \dots, p\}$ ilgilenilen sistemde üretilen parça kümesi olsun. Parça k 'nın işlem sırası da $N_k = (\mu_{1k}, \dots, \mu_{m_k k})$ sıralı kümesi ile gösterilsin. Burada m_k , k parçasının üretimi için gerekli işlem sayısıdır ve bütün $k \in P$ için $N_k \subseteq N$ olur. $1 \leq j < m_k$ için $\mu_{jk} \neq \mu_{j+1,k}$ olduğu varsayılmıştır. Aksi halde bu iki işlem birleştirilebilir.

TYDYP'nin herhangi bir çözümü $\pi = (\pi_1, \dots, \pi_n)$ permütasyon vektörü ile gösterilebilir. π_i i konumundaki iş istasyonunun numarasını, $\lambda_i(\pi)$ de π yerleşimi için istasyon i 'nin konumunu gösterebilir.

Parça k 'nın işlemlerinin tamamlanabilmesi için $1 \leq j < m_k$ ve $k \in P$ iken μ_{jk} ve $\mu_{j+1,k}$ istasyonlarına ardışık olarak uğramak zorunda olduğunu varsayalım. Eğer ilk istasyon ikinciden önce yerleştirilmiş ise parça her iki istasyona da dairesel malzeme aktarma sistemi üzerinde yapacağı aynı turda uğrayabilecektir. Aksi halde, parça Y/B istasyonunu geçerek fazladan bir tur daha atmak zorunda kalacaktır. $\alpha_{jk}(\pi)$, π yerleşiminde parça k 'nın μ_{jk} ve $\mu_{j+1,k}$ istasyonları arasındaki hareketi için yapmak zorunda olduğu fazladan tur sayısını gösteren bir değişken olarak tanımlansın.

$$\alpha_{jk}(\pi) = \begin{cases} 1 & \text{if } \lambda_{\mu_{jk}}(\pi) > \lambda_{\mu_{j+1,k}}(\pi) \\ 0 & \text{dd} \end{cases} \quad (5)$$

O halde parça k'nın işlemleri tamamlanincaya kadar yaptığı fazladan tur sayısı $c_k(\pi)$, aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$c_k(\pi) = \sum_{j=1}^{m_k-1} \alpha_{jk}(\pi) \quad (6)$$

π yerleşimi verildiğinde sistemdeki parçalar için en büyük fazladan tur sayısı:

$$c_3(\pi) = \text{enb}\{c_1(\pi), \dots, c_p(\pi)\} \quad (7)$$

olur. Benzer şekilde π yerleşimi verildiğinde sistemdeki parçalar tarafından gerçekleştirilen toplam fazladan tur sayısı aşağıdaki şekilde bulunabilir.

$$c_4(\pi) = \sum_{k=1}^p c_k(\pi) \quad (8)$$

ENK-ENB TYDYP, $\text{enk}_{\pi \in \Pi} c_3(\pi)$ ve ENK-TOP TYDYP $\text{enk}_{\pi \in \Pi} c_4(\pi)$ şeklinde modellenebilir. Eniyileme yapısındaki ENK-TOP problemi *sistemin bütünleşik tıkanıklığını enküçüklemeyi* hedeflerken ENK-ENB olarak adlandırılan darboğaz problemi, *parçalar arasında daha dengeli bir tıkanıklık* hedefler. ENK-ENB ölçütü, sistemin dinamik yönünü dikkate almak ve dönemden döneme farklılık gösteren üretilen parça miktarı ve çeşitliliğindeki değişimi ve belirsizliği açıklamaya çalışma çabasından ötürü ele alınmıştır (Leung, 1992). Genellikle ENK-ENB ölçütü, ailedeki bütün parçalar için oluşacak tur sayısına en kötü durum garantisi sağladığından ENK-TOP ölçütüne göre daha tutarlı bir yaklaşımdır (Cheng and Gen, 1998).

2.3 Tek Y/B İstasyonlu TYDYP İçin Geliştirilen Çözüm Yöntemleri

TYDYP ile ilgili literatürde karşılaşılan ilk çalışma (Afentakis) 1989 tarihli olmasına rağmen bu konuda çok fazla çalışma yapılmamıştır. Bu problemin çözümü için önerilen yöntemler, kesin çözüm yöntemleri ve sezgisel yöntemler olarak iki grupta incelenebilir.

2.3.1 Kesin çözüm yöntemleri

Geliştirilen kesin çözüm yöntemleri genel olarak iki başlıkta toplanabilir:

1) Doğrudan matematiksel model kullanan yöntemler: Tamsayılı doğrusal karar modelleri ve dinamik programlama yaklaşımları.

2) Problemi gevşeterek çözen yöntemler: Dal-sınır yöntemleri.

2.3.1.1 Tamsayılı doğrusal karar modelleri

TYDYP ile ilgili bir problem çözülmek istendiğinde karşılaşılabilecek en büyük zorluk amaç fonksiyonunun kareli yapısıdır. Ancak TYDYP'ni KAP'nden ayıran dengelilik ve eşit uzaklık özellikleri nedeniyle bu kareli yapının üstesinden gelinebilir. Öyle ki akış matrisi dengeli olduğunda uzaklıklar önemli değildir. Bu durumda amaç fonksiyonunda uzaklıklar yer almayacak ve kareli yapıdan uzaklaşılacaktır. Eşit uzaklıklı durumda ise uzaklık matrisi modele kısıt olarak eklenebilir, böylece yine kareli yapıdan kurtulmuş olunur. Bu durumlarda KAP'ne göre daha fazla sayıda değişken ve kısıt içeren karma tamsayılı doğrusal programlama modelleri kullanılmaktadır.

Dengeli TYDYP

Afentakis (1989) dengeli TYDYP için bir 0-1 tamsayılı programlama modeli önermiştir. Bu problemi $G = (V, A)$ serimine dayanarak modellemiştir. Burada V köşeleri istasyonları, $(i, j) \in A$ yönlü ayrıtları istasyon i 'den istasyon j 'ye olan akışı ifade etmektedir. Her $(i, j) \in A$ yayı, f_{ij} maliyetiyle ilişkilidir. Parçalar sisteme yalnızca Y/B istasyonundan girip çıkabileceği için her parça sistemden ayrılmadan önce daire etrafında tam sayıda tur atmalıdır. Model aşağıdaki şekildedir:

$$y_{ij} + y_{ji} = 1 \quad i, j = 1, \dots, n; i \neq j \quad (9)$$

$$y_{ik} + y_{kj} - 1 \leq y_{ij} \quad i, j, k = 1, \dots, n; i \neq j \neq k \quad (10)$$

$$y_{ij} = 0, 1 \quad i, j = 1, \dots, n; i \neq j \quad (11)$$

kısıtları altında

$$\min \sum_{(i,j) \in A}^n f_{ij} (1 - y_{ij}) \quad (12)$$

y_{ij} ; istasyon j, istasyon i'den sonra yerleştirilmiş ise 1, diğer durumda 0 olan bir 0-1 değişkendir. Amaç fonksiyonu (12), Y/B istasyonundan geçen parça sayısını enküçülmektedir. Kısıt (9), istasyon i'nin istasyon j'den önce ya da istasyon j'nin istasyon i'den önce yerleştirilmesini garantilemektedir. Kısıt (10), eğer istasyon i istasyon k'dan ve istasyon k istasyon j'den önce yerleştirilmiş ise istasyon i'nin istasyon j'den önce yerleştirilmesi gerektiğini ifade etmektedir.

1992 yılında Kıran, et al. dengeli TYDYP için genişletilmiş bir model geliştirmiştir. Buna göre, istasyon j hemen istasyon i'yi takip ediyorsa 1, diğer durumda 0 olan 0-1 tamsayılı değişken x_{ij} tanımlanmıştır ve i ile j istasyonu arasındaki mesafe de d_{ij} ile gösterilmektedir. Uzaklıklar, sabit daire uzunluğu λ ile ölçeklendirildiği için $\lambda = 1$ ve $0 \leq d_{ij} \leq 1$ varsayımını yapmak mümkün olmaktadır. Söz konusu model, izleyen şekildedir.

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1, \dots, n \quad (13)$$

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n x_{ij} = 1 \quad j = 1, \dots, n \quad (14)$$

$$d_{ij} + d_{ji} = 1 \quad i, j = 1, \dots, n; i \neq j \quad (15)$$

$$d_{kj} \geq d_{ki} + d_{ij} + x_{ij} - 1 \quad i, j, k = 1, \dots, n; i \neq j \neq k \quad (16)$$

$$x_{ij} = 0, 1 \quad i, j = 1, \dots, n; i \neq j \quad (17)$$

$$0 \leq d_{ij} \leq 1 \quad i, j = 1, \dots, n; i \neq j \quad (18)$$

kısıtları altında

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n f_{ij} d_{ij} \quad (19)$$

(13) ve (14) atama kısıtlarıdır ve her istasyonun bir öncülünün ve bir ardılının olmasını garanti eder. (15) ve (16) kısıtları, uzaklık matrisinin özelliklerini tanımlar. (16) kısıtı eniyi yerleşimde istasyon j istasyon k'nın hemen arkasında (akış yönünde) ise

$d_{ij} = d_{ik} + d_{kj}$ eşitliğinin sağlanmasını garanti eder. Kıran, et al. (1992) bunun geçerli bir dengeli TYDYP modeli olduğunu belirtmektedir. Ayrıca 5, 6 ve 7 istasyon için türettikleri 3600 rassal örnekle yaptıkları testlerde, bu modelin doğrusal programlama gevşetmesinin her zaman tamsayı en iyi çözümü verdiğini ifade etmişlerdir. Ancak Bilen (1993) daha büyük boyuttaki problemlerde kesirli çözümlerin mümkün olduğunu belirtmiştir.

Bu model, d_{ij} karar değişkenlerinin gösterimi nedeniyle önemlidir. Öncelikle akış dengelidir. Ayrıca parçaların sisteme sadece Y/B istasyonundan giriş, çıkış yapabilmesi söz konusudur. Sonuçta dengeli TYDYP için geliştirilen bu modelin amaç fonksiyonu, ikinci tip amaç fonksiyonu ile eşdeğerdir ve dairesel sistemin uzunluğu $\lambda = 1$ olduğu için modelin amaç fonksiyonu, parçaların Y/B istasyonundan kaç kere geçtiğini sayar. Bu nedenle i 'den j 'ye olan uzaklığı gösteren d_{ij} değişkeni, (2) numaralı eşitlikte belirtilen $I(i, j)$ gibi davranır. Bu da, bu değişkenlerin en iyi çözümde niçin 0 veya 1 değerini aldıklarını açıklar.

Eşit uzaklıklı TYDYP

Bozer and Rim (1989) eşit uzaklıklı TYDYP için aşağıdaki doğrusal programlama modelini önermekte ve bu modelin her zaman tamsayılı çözümler türettiğini, böylece bunun ideal bir eşit uzaklıklı TYDYP modeli olduğunu ifade etmektedir.

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n d_{ij} = \frac{n(n-1)}{2} \quad i = 1, \dots, n \quad (20)$$

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n d_{ij} = \frac{n(n-1)}{2} \quad j = 1, \dots, n \quad (21)$$

$$d_{ij} + d_{ji} = n \quad i, j = 1, \dots, n; i \neq j \quad (22)$$

$$d_{ij} + d_{jk} \leq d_{ik} + n \quad i, j, k = 1, \dots, n; i \neq j \neq k \quad (23)$$

$$d_{ij} + d_{jk} \geq d_{ik} \quad i, j, k = 1, \dots, n; i \neq j \neq k \quad (24)$$

$$d_{ij} \geq 0 \quad i, j = 1, \dots, n; i \neq j \quad (25)$$

kısıtları altında

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n f_{ij} d_{ij} \quad (26)$$

Yazarlar, dairesel malzeme aktarma sisteminin uzunluğunun, istasyon sayısı n 'ye eşit olduğunu varsayımlardır. Bu durumda, ardışık iki istasyon arasındaki uzaklık 1'e eşittir. i ile j konumu arasındaki mesafeyi ifade eden d_{ij} değişkeni, istasyon i ile istasyon j arasındaki istasyon sayısına (istasyon j dahil fakat i dahil değil) eşittir. (20)-(22) kısıtları uzaklık matrisinin özelliğini tanımlar. İstasyonların sırasına bağlı olmaksızın istasyon i 'den diğer bütün istasyonlara uzaklığın toplamı, sabit bir değere eşittir:

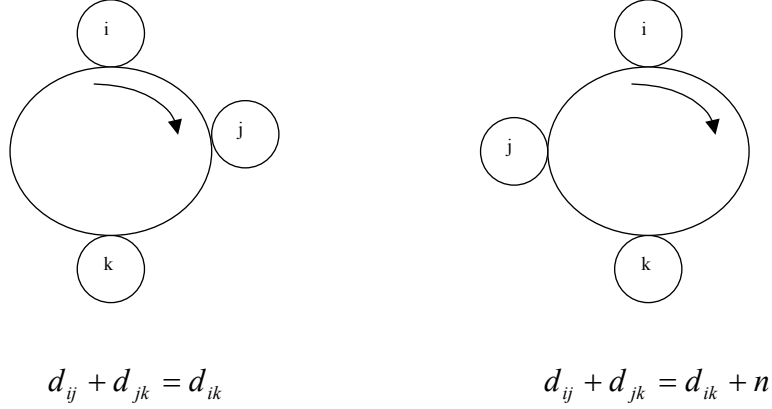
$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n d_{ij} = 1 + 2 + \dots + (n-1) = \frac{n(n-1)}{2} \quad (27)$$

(22) kısıtı, dairesellik kısıtıdır ve yerleşimin dairesel olması nedeniyle ortaya çıkmıştır. (23) ve (24) kısıtları, tek yönlü dairesel malzeme aktarma sistemi etrafındaki herhangi üç istasyonun öncelik ilişkileriyle ilgilidir: i istasyonundan başlandığında ya j istasyonu k istasyonundan önce ya da k istasyonu j istasyonundan önce yerleştirilmiştir (Şekil 2.6). Bu nedenle,

$$d_{ij} + d_{jk} = \begin{cases} d_{ik} & j \text{ istasyonu } k \text{ dan önce ise} \\ d_{ik} + n & k \text{ istasyonu } j \text{ den önce ise} \end{cases} \quad (28)$$

Eğer modelde kısıt seti olarak (28) kullanılacak olursa, modelin 0-1 değişkenler içermesi gerekir. Bu nedenle Bozer and Rim (1989), (28) ifadesinin yerine onun gevşetilmiş hali olan (23) ve (24) kısıtlarını kullanmıştır.

Yazarların önerdikleri bu gevşetilmiş modelin tamsayı en iyi çözümler türettiğini ve eşit uzaklıklı TYDYP'nin en iyi çözümünü bulduğunu gösteren sonuçlar sunmalarına rağmen, bu ispat henüz doğrulanmamıştır. Yapılan denemeler sonucunda bu modelin her zaman tamsayı çözümler türetmediği, dolayısıyla yazarların söylediği gibi bu modelin eşit uzaklıklı TYDYP'ni en iyi çözümünü bulmadığı görülmüştür.



Şekil 2.6 Üç istasyon arasındaki öncelik ilişkisi

2005 yılında Altinel and Öncan, Bozer and Rim'in gevşetilmiş doğrusal programlama modelinde bazı değişiklikler yaparak modeli basitleştirmiştir. (23) kısıtının sağ tarafında yer alan n , $d_{ij} + d_{ji}$ ile değiştirilirse

$$d_{ij} + d_{jk} \leq d_{ik} + d_{ij} + d_{ji} \quad i, j, k = 1, \dots, n; i \neq j \neq k \quad (29)$$

elde edilir. Her iki taraftan d_{ij} yok edilecek olursa üç konum arasındaki ilişkiyi gösteren eşitsizlik (24)'e eşdeğer bir eşitsizlik olan (30) eşitsizliği elde edilir.

$$d_{jk} \leq d_{ji} + d_{ik} \quad i, j, k = 1, \dots, n; i \neq j \neq k \quad (30)$$

(24) kısıtı, (22) ve (23) kısıtlarından elde edilebilir olduğundan gereksiz kısıttır. Diğer taraftan (20) ve (21) kısıtları aşağıdaki şekilde tekrar yazılabilir.

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n d_{ij} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n d_{ji} = \frac{n(n-1)}{2} \quad i = 1, \dots, n \quad (31)$$

$j = 1, \dots, n, j \neq i$ için (22) eşitliği eklenirse

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (d_{ij} + d_{ji}) = n(n-1) \quad i = 1, \dots, n \quad (32)$$

elde edilir. (31) ve (32) kısıtlarının ikisi birlikte, (20) ve (21) kısıtları yerine (33) kısıtını kullanmanın yeterli olacağını ifade eder.

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n d_{ij} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n d_{ji} \quad i = 1, \dots, n \quad (33)$$

Tüm bu işlemler sonucunda Bozer and Rim'in modeline eşdeğer ancak kısıt sayısı $2n^3 + n^2 + 2n$ yerine $n^3 + n^2 + n$ olduğu için daha hızlı olan bir başka model ortaya çıkar. Model, (22), (23), (25) ve (33) kısıtları altında (26) amaç fonksiyonunu enküçüklemeaktadır. Yazarlar bu modeli, TYDYP'nin en iyi değerine bir alt sınır elde etmek için kullanmıştır.

2.3.1.2 Dinamik programlama yaklaşımları

TYDYP'ni dinamik programlama yaklaşımı ile çözen tek çalışma Öncan and Altinel'e (2007) aittir. Yazarlar dengeli akış durumunu dikkate almışlar ve çözüm yöntemlerini, Held and Karp (1962) ile Karp and Held (1967) tarafından sıralama problemleri için önerilen dinamik programlama yaklaşımından yararlanarak geliştirmişlerdir. Hafıza kısıtı nedeniyle yazarlar, en fazla 20 istasyon büyüklüğündeki problemleri çözebilmişlerdir.

2.3.1.3 Dal-Sınır yöntemleri

Dal-sınır yöntemleri, TYDYP'nin gevşetilerek çözülmesi ve iyi alt sınırlar türetilerek dallandırmalarla problemin tamsayılı çözümünün belirlenmesi mantığına dayanır. Bozer and Rim (1989), dengesiz-eşit uzaklıklı olmayan TYDYP için uzaklık matrisinin daireselliğinden yararlanarak iyi bilinen Gilmore-Lawler sınırını değiştirmişler ve yeni bir alt sınır elde etmişlerdir. Bu alt sınırı dal-sınır algoritmasında kullanarak 5, 8 ve 12 büyüklüğündeki problemleri çözmüşlerdir. Kouvelis and Kim (1992), yerel eniyi çözümlerin kolayca belirlenmesi için bazı baskınlık kuralları geliştirmişler ve bu kuralları kullanarak geliştirdikleri dal-sınır yöntemiyle en fazla 12 büyüklüğüne kadar olan problemlerin en iyi çözümlerini bulmuşlardır. Baskınlık kuralları, iş istasyonuna sadece gelen akış söz konusu olduğunda bu iş istasyonunun en son konuma yerleştirilmesini önermektedir. Benzer şekilde iş istasyonundan sadece başka iş istasyonlarına akış söz konusu ise bu istasyon ilk konuma yerleştirilmelidir. Kıran and Karabatı (1993), yerel eniyi çözümlerin belirlenmesi için baskınlık kuralları geliştirmiş ve bunları dal-sınır ve yaklaşık çözüm algoritmalarında uygulamıştır.

Lee, et al. (2001), TYDYP için eniyi çözümü nitelendiren yeni baskınlık kuralları önermişlerdir. Yazarlar, $f_{ij} = f_{ji}, j = 1, \dots, n, j \neq i$ olan herhangi bir iş istasyonu i 'nin konumunun önemli olmadığını, yani o iş istasyonunun herhangi bir yere yerleştirilebileceğini ve birbirine komşu iki iş istasyonu i ve j arasında $f_{ij} < f_{ji}$ ilişkisi varsa, eniyi yerleşimde iş istasyonu i 'nin iş istasyonu j 'den önce yerleştirilmesi gerektiğini ispatlamışlardır. Yazarlar ayrıca R_i , akış matrisinin i . satır toplamı, C_i , i . sütun toplamı iken $R_i > C_i$ ($R_i < C_i$) ilişkisinin olduğu iş istasyonu i 'nin, Y/B istasyonunun hemen önüne (arkasına) yerleştirilemeyeceğini belirtmişlerdir. TYDYP'ni, bu kurallara dayanan derinliğine arama stratejisini kullanarak geliştirdikleri dal-sınır algoritmasıyla çözmüşlerdir. Arama sırasında, her bir aday düğüm için amaç fonksiyonuna bir alt sınır elde etmek amacıyla bir doğrusal programlama modelini çözmekte, bu çözümde de küçük bir değişiklik yaparak Kıran, et al. (1992) tarafından önerilen bir modelden yararlanmaktadır.

Öncan and Altinel (2007) dengeli TYDYP'nin çözümü için alt-üst sınırların hesaplanması ve dallanma stratejilerinin belirlenmesinde akış matrisinin dengelik özelliğini kullanarak, bir dal-sınır algoritması geliştirmişlerdir. Yazarlar, bu algoritma ile en fazla 50 istasyon büyüklüğündeki problemleri çözebilmişlerdir.

2.3.2 Sezgisel yöntemler

Dairesel yerleşim problemlerinin çözümü için geliştirilmiş olan sezgisel yöntemler, kurma esaslı ve iyileştirme esaslı olarak sınıflandırılabilir. Kurma esaslı algoritmalar, verilerden hareketle bir yerleşim belirlemektedir. Bu gruba KK-3 sezgiseli, Lee-Huang-Chiang yöntemi ve girdi-çıkı oranı yöntemi girer. İyileştirme algoritmaları ise, bir başlangıç çözümünden hareketle, bu ilk yerleşimin iyileştirilmesine çalışmaktadır. Bu gruba TAŞI, karşılıklı değişim, değiştir, yeniden ata, sırala ve ters çevir ile taşı ve ters çevir yöntemleri girmektedir.

2.3.2.1 KK-3 sezgiseli

Kouvelis and Kim (1992), TYDYP'nin çözümü için bazı baskınlık kurallarıyla desteklenen üç sezgisel yöntem (KK-1, KK-2, KK-3) geliştirmiş ve rassal olarak

türettikleri test problemlerini kullanarak yaptıkları denemelerde, KK-3 sezgiselinin diğer iki sezgiselden daha başarılı olduğunu göstermişlerdir. KK-3 sezgiselinde, parça taşıma matrisi F dikkate alınarak, $RC_{ij} = (R_i - C_i) - (R_j - C_j) + f_{ji} - f_{ij}$ değeri en büyük olan (i^*, j^*) iş istasyonu çifti seçilir. Burada R_i ve C_i , F matrisindeki sırasıyla i . satır ve i . sütundaki elemanların toplamıdır. Diğer bir deyişle R_i ve C_i sırasıyla, i iş istasyonundan çıkan ve i iş istasyonuna giren toplam parça miktarlarını verir. Seçilen iş istasyonları i^* ve j^* , sırasıyla birinci ve sonuncu sıradaki uygun yerlere atanır. Daha sonra, F matrisindeki, i^* . satır ve sütun ile j^* . satır ve sütun silinir. Yeni bir (i^*, j^*) iş istasyonu çifti, elde edilen F matrisi dikkate alınarak hesaplanan RC_{ij} değerine göre belirlenir. Bu işlemler, parça taşıma matrisinde tek bir eleman kalıncaya kadar sürer.

2.3.2.2 TAŞI (MOVE) sezgiseli

Tansel and Bilen (1998) tarafından önerilen TAŞI (MOVE) sezgiseli, belirli bir iş istasyonunu bütün mümkün konumlara taşıyarak elde edilen iyileşmeyi değerlendirmek ve en iyi taşımayı benimsemek fikrine dayanır. n istasyonun n konuma yerleşimi π ile gösterilsin. π'_i yerleşimi de i . elemanın başka bir konuma taşınması ile elde edilmiş olsun. Sezgisel yöntem, π yerleşimi yerine π'_i yerleşimi benimsenecek olursa amaç fonksiyonunun değerinde meydana gelecek değişimi hesaplar. Bu işlem, bütün $j \neq i$ için tekrarlanır ve iyileşmeler kayıt edilir. Daha sonra en büyük iyileşmeyi sağlayan taşıma benimsenir. Herhangi bir iyileşme görülmeyinceye kadar işlemler tekrarlanır. π_i iş istasyonunun i konumundan j konumuna taşınması bir dizi konum değişikliğine sebep olur. Öncelikle π_i istasyonu j konumuna taşınır. Daha sonra, eğer $j < i$ ise $j, j+1, \dots, i-1$ konumlarındaki $\pi_j, \pi_{j+1}, \dots, \pi_{i-1}$ istasyonları, ileriye doğru $j+1, j+2, \dots, i$ konumlarına taşınır. $i < j$ ise $i+1, i+2, \dots, j$ konumlarındaki $\pi_{i+1}, \pi_{i+2}, \dots, \pi_j$ istasyonları, geriye doğru $i, i+1, \dots, j-1$ konumlarına taşınır.

2.3.2.3 Karşılıklı değişim (SWAP)

Belli bir yerleşimi daha da iyileştirmek için bilinen en eski sezgisel yöntemlerden karşılıklı değişim (SWAP) yöntemi, konum değiş-tokuşuna dayanmaktadır. Herhangi bir başlangıç yerleşim verildiğinde, olabilir bütün konum değiş-tokuş işlemleri belirlenip, aralarından en kazançlı olanı gerçekleştirilir. Bu, iyileşme duruncaya kadar tekrarlanır.

Üçlü yer değiştirme (3WI) yönteminde yerleşimdeki üç iş istasyonunun konumları değiştirilir. Her adımda bütün mümkün üçlü değişimler belirlenip, bunlardan amaç fonksiyonunda en fazla iyileşmeyi sağlayacak olan seçilir.

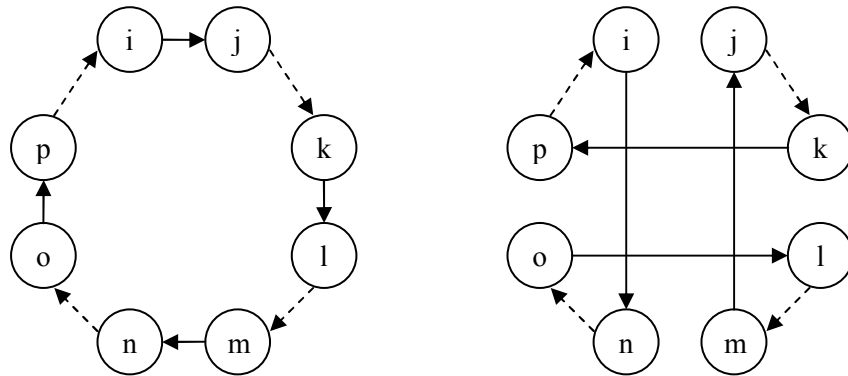
2.3.2.4 Lee-Huang-Chiang (LHC) yöntemi

Lee, Huang and Chiang (2001) tarafından önerilen yöntemde (LHC), başlangıçta simetrik akışlı ($f_{ij} = f_{ji}, j = 1, \dots, n, j \neq i$ olan) iş istasyonları belirlenmektedir. Bu iş istasyonları daha sonra herhangi bir konuma atanabilirler. Ardından, akış matrisindeki sütun (sıra) toplamları sıfır olan $C_i = 0 (R_i = 0)$ iş istasyonları, Y/B istasyonundan hemen sonraki (önceki) boş konumlara atanırlar. Sonra, tüm iş istasyonları için F parça akış matrisindeki sıra toplamı ve sütun toplamı farkının mutlak değeri ($|R_i - C_i|$) hesaplanır ve en büyük değere sahip olan iş istasyonu seçilir. Eğer bu değer pozitifse (pozitif değilse) bu iş istasyonu Y/B istasyonundan sonraki (önceki) ilk uygun pozisyona atanır. Daha sonra, elde edilen yerleşim iyileştirilme sürecinden geçirilir. Parça taşıma matrisindeki sıra toplamı sütun toplamından çıkartılır ve elde edilen en büyük pozitif (negatif) farklı ($R_i - C_i (C_i - R_i)$) iş istasyonu malzeme taşıma sisteminin ilerleme yönüne ters olarak (taşıma sisteminin yönünde) Y/B istasyonuna doğru diğer iş istasyonları ile yer değişiklikleri yapılarak ötelenmeye çalışılır. Bu yer değişiklikleri, amaç fonksiyonunda azalma olduğu sürece tekrarlanır. En son adımda, sadece önceki yer değişikliklerinde ele alınmayan iş istasyonları için karşılıklı değişim (SWAP) yöntemi uygulanır.

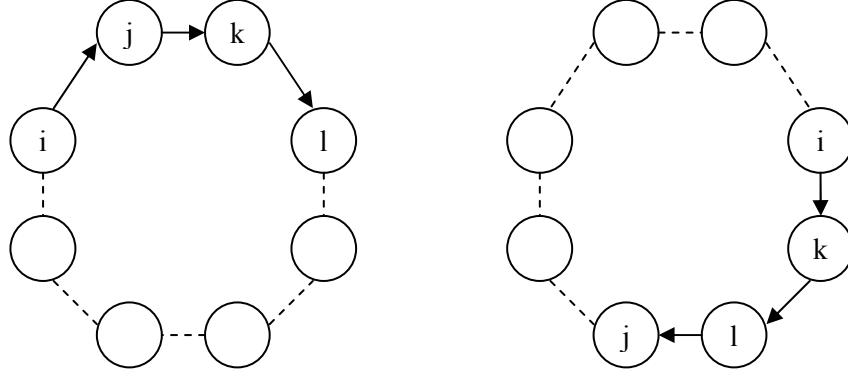
2.3.2.5 Değiştir (EX) ve yeniden ata (RE) yöntemleri

Değiştir yöntemi (Exchange Heuristic, EX), Lin (1965) tarafından aslında Gezgin Satıcı Problemi (GSP) için *k-opt* ismiyle önerilmiştir. Bu yöntem, TYDYP'nin çözümünde ilk kez Altınel and Öncan (2005) tarafından kullanılmıştır. Değiştir yönteminde, dört komşu iş istasyonu çiftinin komşuları değiştirilir. Örneğin *i* ile *j*'nin, *k* ile *l*'nin, *m* ile *n*'nin ve *o* ile *p*'nin komşu olduğu $(p, \dots, i, j, \dots, k, l, \dots, m, n, \dots, o)$ başlangıç yerleşimini ele alalım. $2 \times 4! = 48$ adet olabilir değiştirmeden birisi Şekil 2.7'de gösterilmiştir ve bu değiştirme sonucunda yeni yerleşim $(p, \dots, i, n, \dots, o, l, \dots, m, j, \dots, k)$ olmaktadır. Her adımda, olası tüm değişiklikler hesaplanır ve amaç fonksiyonunda en çok azalmaya neden olan değişiklik gerçekleştirilir. Değiştirme işlemi, amaç fonksiyonunda herhangi bir iyileşme elde edilemeyinceye kadar devam eder.

Yeniden ata yöntemi (Relocation Heuristic, RE) ise, Or (1976) tarafından GSP için Or-opt adıyla önerilmiştir. Altınel and Öncan (2005) bu yöntemi, TYDYP'nin çözümü için kullanmışlardır. Bu yöntemde, ardışık dört iş istasyonu mevcut yerlerinden alınıp başka bir konumda olası tüm sıralamalar denenerek ve bir bütün olarak yerleştirilmeye çalışılır. Bu arada, diğer iş istasyonları aralarındaki sıra bozulmadan boş yerlere kaydırılırlar. Olabilir tüm seçenekler arasından en büyük iyileşmeyi veren seçenek, yeni yerleşim olarak seçilir. Şekil 2.8'de sekiz istasyonlu bir sistemde *i, j, k, l* iş istasyonlarının yeniden atanmasına bir örnek verilmiştir.



Şekil 2.7 *i, j, k, l, m, n, o, p* iş istasyonlarının değiştirilmesi



Şekil 2.8 (i, j, k, l) iş istasyonu grubunun yeniden atanması

2.3.2.6 Girdi-çıkı oranı (OI) yöntemi

Girdi-çıkı oranı (outflow-inflow ratio, OI) yöntemi, Becker (1967) tarafından aslında Doğrusal Sıralama Problemi (DSP) için geliştirilmiştir (Altinel and Öncan, 2005). Altinel and Öncan (2005), yöntemi TYDYP'nin çözümünde kullanmışlardır. Bu yöntemde, öncelikle her bir iş istasyonu için F akış matrisinin i . satırdaki elemanlarının toplamı (R_i) ve i . sütundaki elemanlarının toplamı (C_i) bulunur ve

$r_i = \frac{R_i}{C_i}$ oranı hesaplanır. En büyük r_i değerine sahip iş istasyonu, Y/B istasyonuna en

yakın olan ilk konuma atanır. Sonra, atanan iş istasyonuna ait satır ve sütun akış matrisinden silinir. Kalan iş istasyonları için yeni akış matrisi dikkate alınarak r_i oranları yeniden hesaplanır. En büyük değerli iş istasyonu, bir önceki adımda atanan iş istasyonundan sonraki konuma atanır. Bu işlemler, tüm iş istasyonları bir konuma atanıncaya kadar devam eder.

Dengeli akış durumunda bütün iş istasyonları için $R_i = C_i$ ve dolayısıyla $r_i = 1$ olacağından, dengeli TYDYP'nde bu yöntemi kullanmak anlamlı değildir.

2.3.2.7 Sırala ve ters çevir (SR) yöntemi

Chanas and Kobylanski (1996) tarafından DSP için önerilen sırala ve ters çevir (Sort and Reverse, SR) yöntemi, TYDYP'ne Altinel and Öncan (2005) tarafından

uygulanmıştır. Bu yöntemde, daha iyi bir yerleşim elde edilmeyinceye kadar *sıralama* ve *ters çevirme* işlemleri peş peşe uygulanır.

Sırala algoritmasının çalışmasını özetleyebilmek için başlangıçta elde $\pi = \{\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_n\}$ yerleşiminin olduğu varsayalım. Öncelikle, birinci ve ikinci konumdaki π_1 ve π_2 iş istasyonları ele alınır. Bu iki iş istasyonu, ya $\{\pi_1, \pi_2\}$ ya da $\{\pi_2, \pi_1\}$ şeklinde sıralanabilir. Hangi yerleşim daha az maliyetli ise o yerleşim seçilir. Örneğin, $\{\pi_2, \pi_1\}$ yerleşimi daha az maliyetli olsun. Sonra, üçüncü sıradaki iş istasyonu, π_3 ele alınır ve iki iş istasyonundan oluşan yerleşimde hangi konuma atanabileceğine karar verilir. Diğer bir deyişle $\{\pi_3, \pi_2, \pi_1\}$, $\{\pi_2, \pi_3, \pi_1\}$ ve $\{\pi_2, \pi_1, \pi_3\}$ yerleşimlerinden en az maliyetli olanı bir sonraki adım için seçilir. Bu şekilde, tüm iş istasyonlarından oluşan bir yerleşim elde edildiğinde *sırala* algoritması durdurulur.

Ters çevirme işlemi ile verilen bir yerleşimdeki iş istasyonlarının sırası ters çevrilir yani $\pi = \{\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n\}$ yerleşiminden hareket ederek $\pi' = \{\pi_n, \pi_{n-1}, \dots, \pi_1\}$ yerleşimi elde edilir. Genellikle, *sırala* algoritması sonucunda elde edilen yerleşime uygulandığında, daha yüksek maliyetli yerleşim elde edilir. Ancak, *ters çevirme* işlemi sonrasında elde edilen yerleşime *sırala* algoritması uygulandığında, daha önceki *sıralama* ile elde edilen yerleşimden daha iyi bir yerleşim elde edilebilir. Diğer bir deyişle, *ters çevirme* işlemi, *sıralama* ile elde edilen yerel eniyi çözümden kurtulmak için bir yukarı tırmanış hareketi sağlar. *Sıralama* ve *ters çevirme* işlemleri daha iyi bir yerleşim elde edilmeyinceye kadar devam eder.

2.3.2.8 Taşı ve ters çevir (MR) yöntemi

Altinel and Öncan (2005) tarafından önerilen taşı ve ters çevir (Move and Reverse, MR) yönteminde, SR'daki *sıralama* yerine *taşım* kullanılmaktadır. MR de *taşım* ve *ters çevirme* işlemleri daha iyi bir yerleşim elde edilmeyinceye kadar devam eder.

2.3.2.9 Diğer sezgisel yöntemler

Afentakis (1989), dengeli TYDYP'nin çözümü için serim ve çizge teorisi kuramlarını kullanarak geliştirme esaslı bir sezgisel önermiştir. Kaku and Rachamadugu (1992), TYDYP'nin çözümü için bir sezgisel önermiştir. Rassal olarak türettikleri 8 ile 15 büyüklüğü arasındaki 24 test probleminin %83'ünde eniyi çözüme ulaşmışlardır. Malakooti (2004), TYDYP'nin çözümü için Y/B istasyonundan geçen parça sayısını enküçüklemeyi amaçlayan doğrusal programlamaya dayalı bir sezgisel önermiştir. Leung (1992), ENK-ENB TYDYP'nin çözümü için tamsayılı programlama modelinin doğrusal programlama gevşetmesiyle çözümüne dayanan serim teorisi tabanlı bir sezgisel geliştirmiştir.

Cheng and Gen (1998) TYDYP'nin çözümü için bir melez genetik algoritma geliştirmiştir. Dairesel yerleşimi, permütasyon kodlama şeması ile ifade etmişlerdir. Gelişmiş bir evlat bulabilmek için mutasyon operatörü olarak komşu arama tekniğini kullanmışlardır. ENK-TOP ve ENK-ENB ölçütlerini, hipotetik problemlerle test etmişlerdir. Genel olarak ENK-TOP yaklaşımıyla elde edilen yerleşimde parçalar arasındaki en büyük tur sayısı, ENK-ENB ölçütüyle elde edilen ile aynı iken ENK-TOP yaklaşımıyla daha düşük toplam tur sayılı bir yerleşim elde edilmektedir. Böylece yazarlar, ENK-TOP yaklaşımının ENK-ENB yaklaşımından daha üstün sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Bennell, et al. (2002) ENK-ENB dairese yerleşim probleminin çözümü için yasaklı arama, tekrarlı iniş ve rassal ekleme algoritmalarını önermiştir. Yapılan testler sonucunda en kaliteli çözümler tekrarlı iniş ile elde edilmiştir. Nearchou (2006) ENK-ENB ve ENK-TOP TYDYP'nin çözümü için bir Evrimsel Gelişim Algoritması (EGA-Differential Evolution Algorithm) geliştirmiştir. Yazar, rassal olarak türettiği test problemlerini kullanarak yaptığı karşılaştırma ile EGA'nın performansının Cheng and Gen (1998) tarafından geliştirilen Genetik Algoritma ile Tian, et al.'nin (1999) geliştirdikleri Tavlama Benzetimi tekniklerinden daha iyi olduğunu göstermiştir.

Robot ve OYA sistemlerinden önce dairese yerleşimde malzeme aktarımı büyük ölçüde konveyörler ile yapıldığı için bu alanda önemli bir literatür birikimi

bulunmaktadır. Tüm istasyonlardan malzeme giriş çıkışı yapılabilen bu sistemlere yönelik çalışmalar izleyen sayfalarda kısaca tartışılacaktır.

2.4 n Y/B İstasyonlu Tek Yönlü Dairesel Yerleşim Problemi

Millen, et al. (1992) tek yönlü dairesel malzeme aktarma sisteminin kullanıldığı otomatik üretim sistemlerinde Y/B istasyonu sayısının, sistemin başarısına olan etkisini benzetim yaklaşımıyla incelemiştir. Yazarlar, tek Y/B istasyonlu durum ile n Y/B istasyonlu (n adet iş istasyonunun olduğu ve her işlem merkezinde birer Y/B istasyonunun bulunduğu) durumu karşılaştırmış ve parça giriş-çıkışında esneklik sağlamanın malzeme aktarma gereksiniminde azalmaya yol açtığını belirtmiştir. Bu sonuçlara rağmen n adet Y/B istasyonunun bulunduğu durumda karşılaşılan iş istasyonu yerleşimi problemi sadece Bozer and Hsieh (2005) tarafından ele alınmıştır. Yazarlar bu çalışmalarında, tek yönde ve kapalı bir çevrimde hareket eden halka konveyör sistemini incelemiştir.

2.4.1 Konveyör sistemi

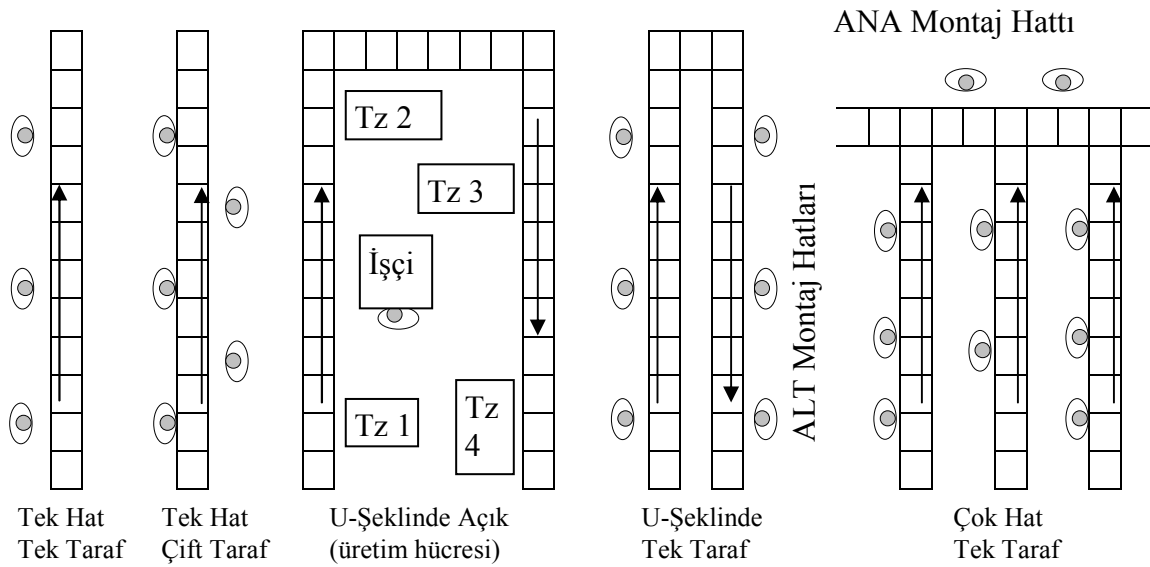
Son 30 yılda konveyörler, hem üretim hem de dağıtım aşamasında yüklerin/parçaların taşınması ve geçici olarak stoklanması amacıyla yaygın olarak kullanılmıştır (Bozer and Hsieh, 2004). Konveyörler sabit bir yol üzerindeki belirli noktalar arasında malzeme hareketinin sık olduğu durumlarda kullanılmaktadır (Hsieh, 2001). İşletim açısından konveyör, Y/B istasyonlarından, malzeme talebi ve temininden, işletim kurallarından ve insanlardan oluşan büyük bir sistemin elemanıdır. Bu nedenle sistem tasarım parametreleri yalnızca donanım parametrelerinden değil, aynı zamanda bekleme alanı ve Y/B istasyonlarının sayısı, sırası ve aralarındaki boşluklar gibi parametrelerden oluşur (Tompkins, et al., 1996). Konveyör sistemi, üretim sisteminin önemli bir parçasıdır. O halde, konveyör sistemi modern bir üretim sisteminin esneklik, verimlilik, dinamiklik gibi bütün gereksinimlerini karşılamak zorundadır (Cohen, 1994).

Konveyörler birkaç değişik şekilde sınıflandırılabilir. Kavramsal yerleşimlerine göre Joneja (2005) izleyen iki sınıflandırmayı kullanmıştır:

- i) Açık veya halka

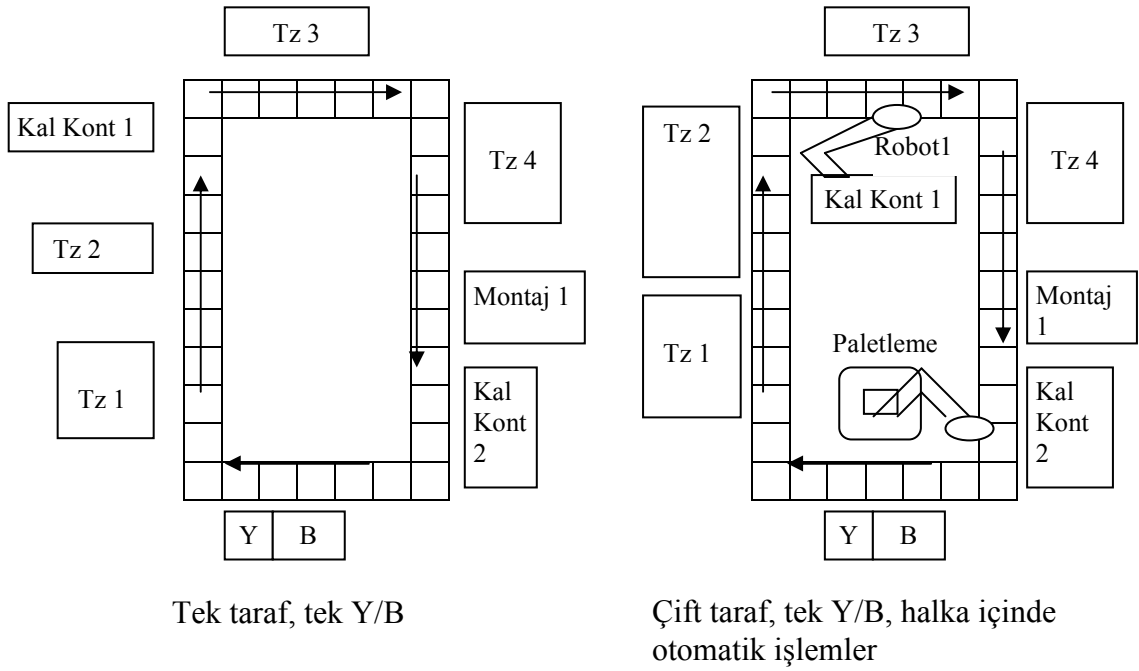
ii) Tek veya iki yönlü

Açık konveyör sistemleri, sabit malzeme yükleme ve boşaltma noktalarına sahiptir. Malzemeler sisteme yükleme noktasından girer ve konveyör sisteminde hareket ederek rotasındaki işlemleri görür. Eğer işlem göreceği iş istasyonu meşgul ise ve tampon stok yeri öngörülmemişse, boşaltma istasyonundan çıkar ve işleminin tamamlanabilmesi için tekrar yükleme istasyonundan sisteme yüklenir. Halka konveyörler kapalı çevrimde hareket ederler, yani parçalar sisteme bir kez yüklenir ve sonsuza kadar bu sistem üzerinde kalabilirler.



Şekil 2.9 Tek yönlü açık konveyör sistemleri

Genellikle konveyörler tek yönde hareket ederler. Ancak, modüler bölümlerden oluşan bazı karmaşık konveyörlerin belli kesimleri, birbirinden bağımsız olarak çift yönlü çalışabilirler. Bu nedenle bu sistemler, istasyonlar arasındaki malzeme akışının doğru olarak yönetilebilmesi için bazı otomatik kontrol sistemlerine gereksinim duyarlar. İki yönlü malzeme aktarma yolları, tek yönlü yollardan daha yüksek kuruluş maliyeti ve daha hassas kontrol gerektirdiğinden (akışlar daha karmaşık) daha az tercih edilmektedir (Tansel and Bilen, 1998).



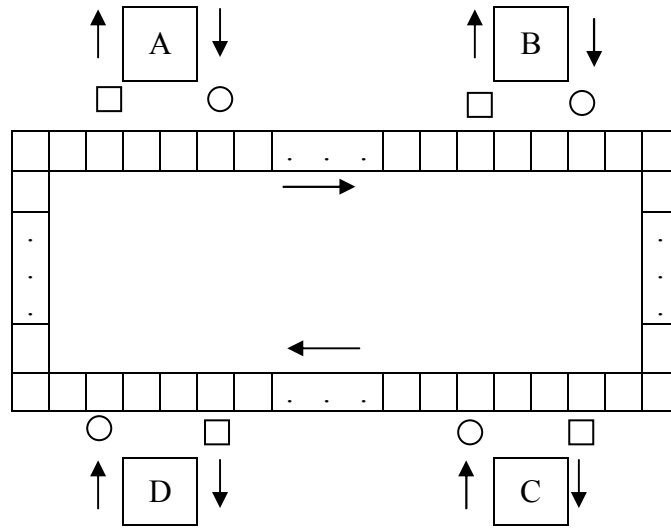
Şekil 2.10 Tek yönlü halka konveyör sistemleri

Şekil 2.9’da tek yönlü açık konveyörlere bazı örnekler verilmiştir. Şekil 2.10, tek yönlü halka konveyörün iki temel şeklini göstermektedir. Bu sistemlerin iyi tarafı işlemi tamamlanıncaya kadar parçanın sistemde kalmasıdır. Böylece işlem göreceği iş istasyonu dolu olan parça sistemi dolaşarak bu istasyon boşalıncaya kadar sistemde kalır ve istasyon boşalınca işlem görmek üzere istasyona yüklenir. Bu durumda konveyör ara stok görevi de görür. Diğer bir iyi tarafı, bu tip konveyörlerin üzerindeki herhangi bir noktaya Y/B istasyonunun yerleştirilebilmesinin sağladığı esnekliktir. Halka konveyörlerde genel bir Y/B istasyonu olabileceği gibi birden fazla yükleme ve boşaltma istasyonu da olabilir. Halka konveyörün şekli, konveyörün yerleştirileceği alanın büyüklüğüne ve şekline veya iş istasyonlarının büyüklüklerine göre belirlenebilir. En yaygın kullanılan düzenleme şekilleri, dikdörtgen ve daire olmaktadır.

2.4.2 Halka konveyör sistemi

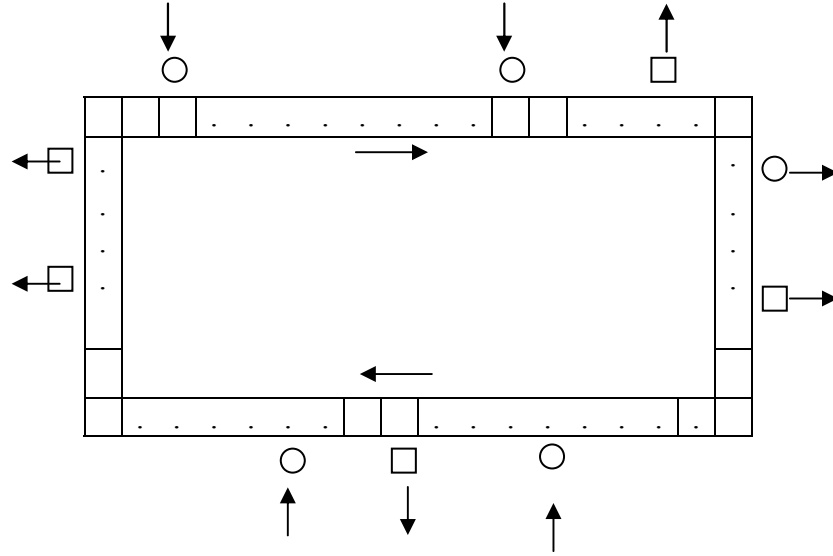
Bozer and Hsieh (2005) halka konveyörleri, üretim düzeni (Şekil 2.11) ve genel düzen (Şekil 2.12) olarak isimlendirdiği iki şekilde incelemiştir. Her iki düzen de halka konveyörün etrafına yerleştirilmiş yükleme ve boşaltma istasyonlarından oluşmaktadır.

Ancak genel düzen sadece yükleme ve boşaltma istasyonlarından oluşurken, üretim düzeninde iş istasyonları da vardır. Bu istasyonlar tek bir tezgahtan oluşabileceği gibi birkaç tezgahlık gruplardan da oluşabilir. Üretim düzeni, her bir boşaltma istasyonu bir yükleme istasyonu ile eşleştirildiği için genel düzenin özel bir şeklidir. Her bir yükleme istasyonu için birer girdi kuyruğu ve her bir boşaltma istasyonu için birer çıktı kuyruğu vardır. Bütün girdi ve çıktı kuyruk kapasitelerinin yeterli olduğu, malzeme akışında hiçbir zaman tıkanma olmayacağı varsayılmıştır.



Şekil 2.11 Halka konveyör sistemi (Üretim düzeni)

Üretim düzeninde değişik rotalara sahip, çeşitli parça tipleri işlem görmektedir. Parçalar sisteme herhangi bir istasyondan girmekte ve çıkmaktadır. İstasyon i’de işlemi biten parça, eğer i işlemi rotasındaki son işlem ise sistemden ayrılır. Değilse, istasyon i’nin girdi kuyruğuna girer ve rotasındaki bir sonraki istasyona gitmek üzere konveyöre yüklenmeyi bekler. Genel düzende parçalar sisteme herhangi bir yükleme istasyonundan (konveyöre yüklenmek için bekledikleri girdi kuyruğunun ait olduğu) girer ve boşaltma istasyonlarının birisinden çıkarlar. Genel düzende üretim işlemleri, dolayısıyla belli bir rota söz konusu olmadığı için, taşınan birimlere parça değil yük demek daha uygun görülmektedir.



Şekil 2.12 Halka konveyör sistemi (Genel düzen)

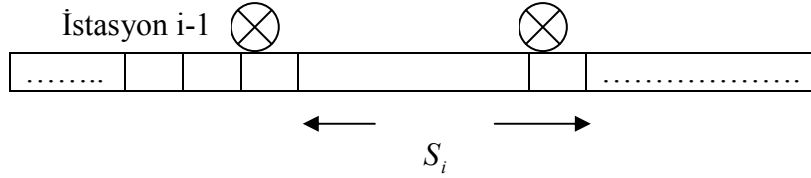
Konveyör tek yönde hareket etmekte ve *taşıyıcılardan* oluşmaktadır. Taşıyıcılar, birbirine bir çeşit menteşe ile bağlanmış tepsi şeklinde birimler olabileceği gibi, bant şeklindeki konveyörlerin belli uzunluktaki (50 cm gibi) kısımları da birer kavramsal taşıyıcı olarak düşünülebilir. Pencere de denebilecek bu taşıyıcıların her birinde en fazla bir parçanın (yükün) bulunabileceği ve konveyörün hızının ve pencere sayısı ile ifade edilen uzunluğunun sabit olacağı ve kullanıcı tarafından tanımlanabileceği, ayrıca her pencerenin eşit büyüklükte olduğu varsayılmıştır.

Konveyör çevrim süresi, konveyörün bir pencere mesafesi kadar ilerlemesi için gerekli olan süredir. Her bir konveyör çevrimi sonunda her girdi kuyruğundaki iletim aracı, önündeki pencereyi kontrol eder. Eğer pencere açıksa, girdi kuyruğundaki ilk parça pencereye otomatik olarak yerleştirilir. Diğer durumda, pencere bir sonraki pencereyi kontrol etmek üzere bir konveyör çevrimi daha bekler. Benzer şekilde her çevrim sonunda hedefine ulaşan her parça konveyörden otomatik olarak alınır ve çıktı kuyruğuna yerleştirilir. Yükleme ve boşaltma istasyonlarındaki parça taşıma sürelerinin sabit ve konveyör çevrim süresi yanında ihmal edilebilecek kadar kısa olduğu varsayılmıştır. Her iki düzenleme için de yükleme istasyonu i 'ye parça gelişlerinin $\lambda_i (> 0)$ parametresiyle bağımsız Poisson sürecini takip ettiği varsayılmıştır.

Bozer and Hsieh (2005) halka konveyör sistemi için kararlılık koşulunu türetmiştir. Kararlılık koşulu, konveyör sisteminin çıktı gereksinimini karşılayıp karşılamadığını gösteren bir ölçüdür.

$M = 5$ yükleme ve $N = 5$ boşaltma istasyonunun olduğu bir konveyör halkası (Şekil 2.12) dikkate alınsın. θ yükleme istasyonları kümesini, Ω boşaltma istasyonları kümesini göstereyin. Λ_i , parçaların boşaltma istasyonu i 'deki çıktı kuyruğuna geliş hızı olsun. Yükleme istasyonu i 'ye parçaların geliş hızı λ_i bilindiğinde, eğer konveyör sistemi çıktıyı karşılayabiliyorsa akışın korunumundan $\sum_{i \in \Omega} \Lambda_i = \sum_{i \in \theta} \lambda_i$ eşitliği sağlanmalıdır.

Konveyör $K = M + N$ olacak şekilde S_1, S_2, \dots, S_K ile ifade edilen K bölüme ayrılsın. Şekil 2.13'de gösterildiği gibi S_i ($i = 1, \dots, K$), konveyörün üzerindeki istasyon $i-1$ ile istasyon i arasındaki pencerelerin kümesini göstermektedir. Tanıma göre her bölüm S_i , bir yükleme veya boşaltma istasyonu i ile bitmektedir.



Şekil 2.13 Konveyör bölümü i , S_i

Δ_i , konveyör bölümü S_i 'de gerekli akış hızını (birim zamandaki parça sayısı) göstereyin ve $\Delta_i = \sum_k \sum_l f_{kl} z_{kl}^i$ olarak tanımlansın. Burada f_{kl} , yükleme istasyonu k 'dan boşaltma istasyonu l 'ye akış hızını göstermekte ve z_{kl}^i eğer parça iş istasyonu k 'dan iş istasyonu l 'ye S_i bölümünden geçerek ulaşacaksa 1, diğer durumda 0 olan bir değişkendir. z_{kl}^i 'nin karar değişkeni olmadığına dikkat edelim. V konveyörün hızı (birim zamanda hareket eden pencere sayısı) iken q_i , konveyör bölümü S_i için gerekli akış hızının konveyör hızına oranı olsun.

$$q_i = \frac{\Delta_i}{V} \geq 0 \quad (34)$$

Eğer bölüm S_i yükleme istasyonu i ile bitiyorsa, yükleme istasyonu i 'nin kararlı olabilmesi için gerekli (fakat yeterli değil) koşul $q_i < 1$ (yani $\Delta_i < V$) olmasıdır.

Eğer her yükleme istasyonu kararlılık için gerekli ve yeterli koşulu sağlıyorsa, sistem kararlıdır. Eğer sistem kararlı ise q_i , bölüm S_i 'deki herhangi bir pencerenin dolu olmasının durağan durum olasılığı olarak yorumlanabilir ve bölüm S_i 'deki pencere kullanım oranını gösterir. Bozer and Hsieh (2005) $(\lambda_i + \Delta_i)/V$ ifadesini yükleme istasyonu i için kararlılık faktörü olarak tanımlamış ve SF_i ile göstermiştir. Bütün boşaltma istasyonlarında yeterli kuyruk kapasitesi olduğu varsayıldığından onlar konveyörün kararlılığını etkilemeyeceklerdir. Sonuç olarak konveyör yalnız ve yalnız bütün $i \in \theta$ için $SF_i < 1$ ise kararlıdır.

2.4.3 Halka konveyör konusunda yapılan çalışmalar

Kaynaklarda, konveyör sistemini rassal olarak modelleyen ilk çalışmanın Mayer'inki (1960) olduğu belirtilmektedir. Mayer'in incelediği sistemde eşit aralıklarla yerleştirilmiş her taşıyıcı birden fazla parça taşıyabilmektedir. Morris (1962), Mayer'in rassal yaklaşımını gruplanmış yükleme istasyonlarını gruplanmış boşaltma istasyonlarının izlediği *çok yükleme ve boşaltma istasyonlu* durum için genişletmiştir. Morris'in konveyör sistemi, genel düzenin özel bir şeklidir. Yazar, performans göstergelerini türetmek için akışın korunumu ilkesini kullanmıştır. Pencere dolu olduğu için konveyöre yüklenemeyen parçaların kalıcı olarak bir kenarda bekletildiğini varsaymıştır. Bozer and Hsieh'in (2005) incelediği sistemde ise yükleme ve boşaltma istasyonları gruplanmak zorunda değildir. Ayrıca, dolu pencere nedeniyle konveyöre yüklenemeyen parça bir kenarda beklemek yerine boş pencere gelinceye kadar beklemektedir.

Xue and Proth (1987), yük dolaşımına izin verilen *tek yükleme ve tek boşaltma istasyonlu* bir halka konveyör sistemini incelemişlerdir. Konveyör sisteminin kilitlenmemesi için gerekli koşulu ve durağan durumdaki beklenen süreç için stokları

türetmişlerdir. Bastani (1988), *çok boşaltma istasyonlu* benzer bir sistemi incelemiş ve geri dönüş sürelerinin etkisini ölçmek için analitik bir çözüm önermiştir. Ancak yükleme ve boşaltma istasyonlarındaki geliş ve işlem sürelerinin deterministik olduğunu varsaymıştır. Yükleme istasyonunda herhangi bir geçici stoklama söz konusu olmadığından parçalar kaybolmaktadır. Boş bir boşaltma istasyonu bulamayan parçalar, konveyör üzerinde tekrar dönmektedir. Şimdiye kadar değinilen çalışmalar birden fazla yükleme ve boşaltma istasyonunun olduğu ve bunların sistemde karışık olarak yerleştirildiği durumu ele almamışlardır. Bu durum, Bozer and Hsieh (2005) tarafından genel düzen ismiyle incelenmiştir.

Atmaca (1994), Bozer and Hsieh'in (2005) üretim düzeni olarak isimlendirdiği sisteme benzer bir halka konveyörün olduğu ve tezgahların güvenilir olmadığı (tezgahların arızalanabildiği) bir esnek üretim sistemini incelemiştir. İncelenen sistemde *birer yükleme ve boşaltma istasyonu* vardır. Yazar, konveyörü iki parçaya bölerek incelemiştir. İlk bölüm konveyörün yükleme istasyonundan boşaltma istasyonuna kadar olan kısmından, ikinci bölüm de boşaltma istasyonundan yükleme istasyonuna kadar olan kısmından oluşmaktadır. Konveyörün ilk bölümünde işlemi tamamlanan parça, ikinci bölüme uğramadan boşaltma istasyonundan çıkmaktadır. Ancak ilk bölümde işlemi tamamlanmayan parçalar ikinci bölüme gitmekte, işlem görmekte ve boşaltma istasyonuna gitmek üzere ilk bölümü dolaşmak zorundadır. Yazar, bu sistemin analizi için sistemde geçen ortalama süre, sistemdeki ortalama parça sayısı, bir pencerenin dolu olma olasılığı ve konveyörün çıktısı gibi performans göstergelerini türetmiştir. Ancak Bozer and Hsieh (2005), konveyörün çıktı kapasitesinin belirlenebilmesi için konveyörün her bölümünün (istasyonlar/tezgahlar arasında kalan parçalar) ayrı ayrı dikkate alınması gerektiğini göstermiştir. Atmaca (1994), belirtilen performans göstergelerini konveyörün ihtiyaç duyulan çıktıyı karşıladığı varsayımı altında elde etmiştir.

Sonderman (1982), yükleme istasyonuna rassal gelişlerin olduğu *tek yükleme ve boşaltma istasyonlu* bir konveyör sistemini incelemiştir. Amacı, boşaltma istasyonundaki çıktı sürecini tahmin etmektir. Pourbabai (1986), Sonderman'ın (1982) incelediği sistemin aynısını incelemiştir. Ancak onun amacı, konveyördeki akış değişkenliğinin etkisini araştırmaktır. Pourbabai and Sonderman (1985) ile Bastani

(1990) tekrarlı geçişin olduğu *tek yükleme ve çok boşaltma istasyonlu halka konveyör* sistemini incelemiştir. Bu çalışmaların hiç birisi çok yükleme istasyonlu durumu ele almamıştır.

Bu bölümde değinilen çalışmalara ek olarak, bazı çalışmalar da optimizasyon konusuna odaklanmıştır. Örneğin Muth (1975), gelişlerin deterministik olduğu *çok yükleme ve boşaltma istasyonlu halka konveyör* sistemi için sistem maliyetini enküçükleyecek taşıyıcı sayısını ve kapasitesini belirlemiştir. İki yıl sonra Muth (1977), önceki çalışmasını gelişlerin rassal olduğu *tek yükleme ve boşaltma istasyonlu halka konveyör* sistemi için genişletmiştir. Ayrıca Bölüm 2.2 ve 2.3’de değinilen araştırmacılar, tek yükleme ve boşaltma istasyonlu (yükleme ve boşaltma için tek bir istasyon var) dairesel sistemler için en iyi yerleşimin bulunması üzerinde çalışmışlardır.

2.4.4 Halka konveyör yerleşim problemi

Üzerinde n adet konumun ve n adet Y/B istasyonunun bulunduğu halka konveyör sisteminde karşılaşılan iş istasyonu yerleşimi problemi, “halka konveyör yerleşim problemi” olarak adlandırılmıştır. Bu problem, Bozer and Hsieh (2005) tarafından incelenmiş ve problem ile ilgili önemli sonuçlar elde edilmiştir.

Bozer and Hsieh (2005) konveyörün hızı V sabit iken $\sum \sum f^* d$ amacı enküçüklendiğinde konveyör üzerindeki beklenen süreç içi stokların da enküçükleneceği önermesinde bulunmuş ve bunu aşağıdaki şekilde ispatlamıştır.

W_i , konveyördeki bölüm i ’de bulunan pencere sayısı ve δ da her pencerenin uzunluğu olsun. K konveyördeki bölüm sayısı iken $i = 1, 2, \dots, K$ için $\sum \sum f^* d \equiv \sum_i \Delta_i W_i \delta$ yazılabilir. $q_i W_i$, i bölümünde beklenen süreç içi stok düzeyi

olduğundan $\sum \sum f^* d = V \left[\sum_i (\Delta_i / V) W_i \right] \delta = V \delta \left[\sum_i q_i W_i \right] = V \delta WIP_{konv}$ olur.

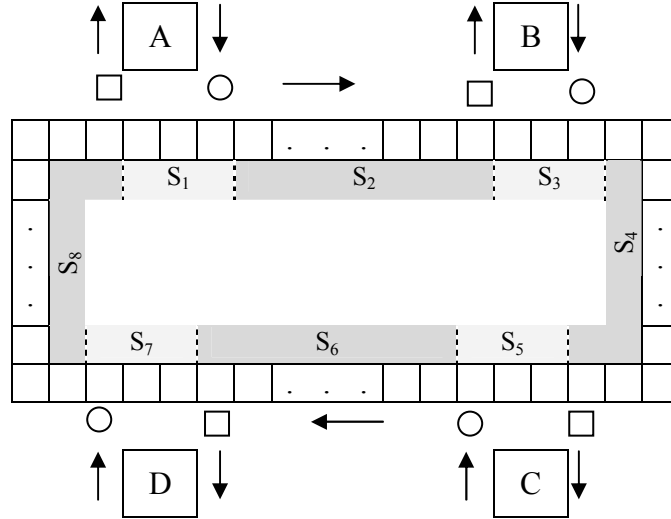
Konveyörün hızı (V) ve pencere uzunluğu sabit olduğundan $\sum \sum f^* d$ değerini enküçüklemek konveyör üzerindeki beklenen süreç içi stokları enküçüklemeye eşdeğerdir.

Bu durumda *KAP-en iyi yerleşim*, WIP_{konv} 'ü enküçükleyen iş istasyonu ataması olarak tanımlanır. M konumlu bir KAP için $M!$ adet iş istasyonu ataması mümkündür. Genellikle her atama, konveyör üzerinde farklı akışlar ve beklenen süreç içi stok düzeyleri üretir. Her istasyon ataması α için SF_{sys}^α , bu atama için kararlılık faktörü olarak tanımlanmıştır. Konveyör etrafında aynı istasyon sıralamasına sahip bütün atamaların aynı kararlılık faktörü değerine sahip olduğuna dikkate edelim. Hatırlanacak olursa $SF_{sys} = enb[(\lambda_i + \Delta_i)/V]$ idi. V biliniyor ve sabit iken, eğer $\lambda_i + \Delta_i$ değerleri değişmezse SF_{sys} değerleri de aynı kalır. $\lambda_i + \Delta_i$ değerleri yalnızca iş istasyonlarının sırasına bağlıdır, onların konumlarına bağlı değildir. O halde M konumlu bir KAP için, genellikle $(M - 1)!$ farklı kararlılık faktörü vardır.

$(M - 1)!$ kararlılık faktörü değeri arasından, yükleme istasyonlarındaki en büyük kararlılık faktörünü enküçükleyen iş istasyonu atamasının kümesine SF-en iyi küme denir. SF-en iyi kümedeki yerleşimler arasından en küçük WIP_{konv} değerine sahip olan yerleşime *SF-en iyi yerleşim* denir. Bozer and Hsieh (2005) çıktıyı karşılayan en az bir yerleşim olsa bile, her yerleşimin çıktıyı karşılaması gerekmediğini ve KAP-en iyi yerleşimin genellikle WIP_{konv} düzeyini enküçüklemesine rağmen çıktıyı karşılamayabileceğini belirtmiştir. Bu ifadeyi bir örnek ile açıklayalım. Şekil 2.14'de gösterilen ve uzaklık ile akış matrisleri Şekil 2.15'de verilen dört konuma dört iş istasyonunun atanması problemi ele alınmış olsun.

İş istasyonu i 'den iş istasyonu j 'ye uzaklık, istasyon i 'nin yükleme istasyonundan istasyon j 'nin boşaltma istasyonuna kadar olan uzaklık olarak belirlenmiştir. Pencere uzunluğunun (δ) 1 foot olduğu varsayılmıştır. Bu problem için $4! = 24$ istasyon ataması mümkündür. Çizelge 2.1'de gösterildiği gibi konveyörün hızı 77 cm/dk iken (4 3 2 1) yerleşimi SF-en iyi yerleşimdir; en küçük SF_{sys} değerine ($0.91 < 1$) sahiptir ve $\sum \sum f * d$ maliyeti 3192 cm/dakikadır. (1 4 2 3) yerleşimi en büyük SF_{sys} değerine (1.61) sahiptir ve kararsızdır. (1 3 2 4) yerleşimi için $\sum \sum f * d$ maliyeti 2868 cm/dk'dır ve KAP-en iyi yerleşimdir. Bu yerleşimin $\sum \sum f * d$ değeri

(4 3 2 1) yerleşimininkinden %11.3 daha düşük olmasına rağmen 1.06 kararlılık faktörüne bağlı olarak kararlı değildir.



Şekil 2.14 Dört konum ve dört iş istasyonlu bir örnek

	A	B	C	D
A	-	14	32	50
B	50	-	14	32
C	32	50	-	14
D	14	32	50	-

(a)

	1	2	3	4
1	0	0	28	12
2	0	0	14	14
3	0	70	0	0
4	0	0	0	0

(b)

Şekil 2.15 (a) Uzaklık matrisi (cm) (b) Akış matrisi

Simetriye (konveyör üzerinde eşit uzaklıklı bölümler) bağlı olarak aynı sıralamanın olduğu istasyon atamaları aynı $\sum \sum f * d$ değerini türetir; yani yalnızca $(4-1)! = 6$ tane farklı $\sum \sum f * d$ değerli istasyon yerleşimi vardır. Örneğin atama (1 3 2 4); (4 1 3 2), (3 2 4 1) ve (2 4 1 3) ile aynı $\sum \sum f * d$ değerine sahiptir. Böylece bütün mümkün çözümleri göstermek için çizelgede yalnızca 6 sıraya ihtiyaç vardır.

Çizelge 2.1 Farklı konveyör hızlarında $\sum \sum f * d$ ve SF_{sys} değerlerinin karşılaştırılması

Atama	$\sum \sum f * d$	SF_{sys} (V=77 cm/dk)	SF_{sys} (V=125 cm/dk)
1324	2868	1.06	0.66
1432	3192	0.91	0.56
1342	4164	1.25	0.77
1243	4668	1.43	0.88
1234	5640	1.43	0.88
1423	5964	1.61	0.99

İş istasyonları geleneksel KAP amacına ($\sum \sum f * d$ enküçüklenmesi veya konveyördeki beklenen süreç içi stokların enküçüklenmesi) göre düzenlendiğinde var olsa bile kararlı bir sistem elde edilmeyebilir. Bir halka etrafına iş istasyonlarının en iyi şekilde yerleştirilmesini amaçlayan birçok geçmiş çalışmanın geleneksel KAP amacını kullandığı düşünüldüğünde bu, önemli bir sonuçtur. Geleneksel KAP amacı hala ilgi çekici olabilir, fakat yerleşim KAP-en iyi olmasına rağmen bir veya birkaç istasyonun kararsız olması mümkündür. Bu aslında, KAP-en iyi yerleşim konveyörün belirli bölümlerinde fazla miktarda akış oluşturabileceği içindir. Konveyörün hızı artırıldığında bütün yerleşimler çıktı gereksinimini karşılamaktadır (Çizelge 2.1).

Bozer and Hsieh (2005) halka konveyör yerleşim problemlerinin çözümü için iki tip problem tanımlamışlardır: KAP-temelli optimizasyon problemi (1. tip) ve kararlılık-temelli optimizasyon problemi (2. tip).

1. tip: $enk\ WIP_{konv}$

2. tip: $enk\ SF_{sys}$

$$SF_{sys} \leq k \text{ k.a.}$$

1. tip problemde amaç, WIP_{konv} 'ün enküçüklenmesidir. Ancak KAP-en iyi yerleşim, kararsız bir sistem türetebileceğinden, SF_{sys} kullanıcı tanımlı bir k değeri ile sınırlandırılmıştır. 2. tip problemde amaç, SF_{sys} 'nin enküçüklenmesidir.

Bu iki problem için elde edilecek sonuç, veriye ve k'nın değerine bağlıdır. Bozer and Hsieh (2005) bu problemlerin çözümü için tavlama benzetimine dayalı bir algoritma geliştirmiş ve 10 iş istasyonlu bir konveyör sistemi için her iki tip problemi de

çözmüşlerdir. Sonuçlar 2. tip problemden 1. tip probleme geçişte SF_{sys} değeri yaklaşık %8 artarken WIP_{konv} değerinin %7.5 civarında azaldığını göstermiştir. Yazarlar konveyördeki süreç içi stoklarda meydana gelecek azalmanın faydasının daha fazla SF_{sys} değerine sahip olmaktan daha fazla veya daha az olduğunun kararının kullanıcının vermesi gereken bir karar olduğunu belirtmişlerdir. Yazarlar ayrıca, akış değerleri belirsiz (değişken) ise SF_{sys} 'nin enküçülenmesinin gelecekte olabilecek beklenmeyen değişikliklere karşı en büyük savunmayı sağlayacağını belirtmişlerdir.

Hem tek Y/B istasyonlu hem de n Y/B istasyonlu tek yönlü dairesel yerleşim problemi NP-tam (Kouvelis and Kim, 1992; Leung, 1994) olduğu için, bu problemin makul sürede çözülebilmesi için sezgisel yöntemler ve yapay zeka yöntemleri oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada TYDYP'nin çözümü için bir melez genetik algoritma geliştirilmiştir. İzleyen bölüm, bu algoritmayı tanıtmaktadır.

3 GELİŞTİRİLEN MELEZ GENETİK ALGORİTMA

Al-Sultan, et al. (1996), Genetik Algoritmaları (GA) "evrim sürecini taklit eden arama teknikleri" olarak tanımlamaktadır. Bir GA, mümkün çözümlerin kodlandığı dizilerin (kromozom) bir kümesi (popülasyon) ile biyolojik özelliği taklit eden genetik operatörlerden (çaprazlama ve mutasyon, vb.) oluşur. Rassal ya da belirlenen koşullara göre elde edilen başlangıç popülasyonuna genetik operatörlerin uygulanması ile biyolojik gelişim süreci taklit edilmek sureti ile probleme çözüm aranır. GA, sezgisel bir yöntem olduğu için dikkate alınan probleme en iyi çözümü bulamayabilir, ancak makul zaman aralığında en iyi çözüme yakın çözümleri elde edebilir (Goldberg, 1989). Başlangıçta doğrusal olmayan eniyileme problemlerine uygulanan GA, son 20 yıldır çizelgeleme, şebeke tasarımı ve güvenilirliği, gezgin satıcı, kargo yükleme ve araç rotalama gibi değişik mühendislik problemlerine de başarıyla uygulanmıştır (Karaoğlan ve Altıparmak, 2005).

GA, problem ile ilgili bilgiyi kullanmaksızın aramayı gerçekleştiren bir yöntemdir. Her tekrarda, mümkün çözümlerin elde edilebilmesinde sadece kodlamayı ve amaç fonksiyonu değerini kullanırlar. Probleme özgü bilgiyi kullanmamaları, GA'ların uygulama alanının geniş olmasını sağlamaktadır. Ancak, bir probleme ait mevcut bilginin kullanılmaması GA'nın bu problem için geliştirilmiş sezgiseller kadar iyi olmasını engelleyebilmektedir. Bu nedenle, GA ile probleme özgü bilginin birleştirilmesi için kaynaklarda çeşitli yollar önerilmiş ve melez genetik algoritmalar geliştirilmiştir (Altıparmak ve Dengiz, 1998).

GA'nın genel yapısı içinde probleme özgü bilginin kullanılabilceği çeşitli aşamalar vardır. Çözümü aranan problem için geliştirilmiş sezgisel algoritmalar varsa, bu algoritmalar GA içinde farklı şekillerde kullanılabilir (Türkbey, 2002). Birincisi, uygun başlangıç popülasyonunun oluşturulmasında sezgisel algoritmanın ürettiği çözüm ya da çözümlerin kullanılmasıdır. Bu yöntem ile bir melez GA'nın sezgisel ile elde edilen çözümden daha kötü çözüm bulması engellenir. İkincisi, sezgisel algoritmanın genetik operatör içinde kullanılmasıdır. Sezgisel algoritma, kodlamada ardışık dönüşümleri gerçekleştirebiliyorsa (yani bir yerel arama metodu ise) genetik operatörlerden sonra popülasyondaki her kromozoma uygulanabilir. Bu işlem ile

aramanın daha umut verici bölgelere yönlendirilmesi sağlanır. Üçüncüsü ise, yerel arama yönteminin GA'dan sonra kullanılmasıdır. Bu yöntemde arama uzayının yüksek uygunluğa sahip bölgeleri bir GA ile belirlenir. Son iterasyonda elde edilen yüksek uygunluğa sahip çözümlerin %5 veya %10'unda yerel arama metodu ile aramaya devam edilerek daha iyi çözümlere ulaşılır.

Probleme özgü bilginin genetik operatörlerde de kullanılması mümkündür (Türkbey, 2002). Bu durumda, birçok problem için yeni genetik operatörler tanımlanabilir. Bu operatörler, mevcut kromozomlardan yeni kromozomların oluşturulmasında probleme özgü bilgiyi de dikkate alırlar. Bu çalışmada, mutasyon operatörü TAŞI (MOVE) sezgiseli ile birleştirilerek yerel aramanın güçlendirilmesi yoluna gidilmiştir. İzleyen paragraflarda, olurlu çözümlerin kromozom yapıları içinde ne şekilde temsil edildiği ve çaprazlama işlemlerinin olurluluğu bozmadan nasıl yapıldığı gösterildikten sonra, TAŞI sezgiseli ile mutasyon işleminin bütünleştirilmesi açıklanacaktır.

3.1 Çözümlerin Gösterimi

GA'yı diğer arama yöntemlerinden ayıran en önemli özellik, parametrenin kendisi yerine parametreleri temsil eden kromozomların kullanılmasıdır. Bu nedenle, ilk adım problem için arama uzayını en iyi temsil eden uygun bir kodlama yapısının seçimidir (Altıparmak ve Dengiz, 1998). Literatürde en yaygın kullanılan kodlama, ikili düzende kodlama olmasına rağmen gezgin satıcı, çizelgeleme, araç rotalama, tesis yerleşimi gibi kombinatoriyal optimizasyon problemlerinde ikili düzende kodlama, arama uzayını tam olarak temsil edememektedir. Bu nedenle literatürde, gerçel sayı kodlama ve permütasyon kodlama türleri de çok sık kullanılmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan melez GA'da uygun çözümler, iş istasyonu numaralarının permütasyonu olarak gösterilmiştir (permütasyon kodlama). Yerleştirilecek iş istasyonu sayısı n , kromozomun uzunluğunu belirlemektedir. Kromozomda i . konumda görülen j . gen, j . iş istasyonunun dairesel malzeme aktarma sistemi üzerindeki i . konuma yerleştirileceğini ifade etmektedir. Şekil 3.1'de gösterilen kromozom, beş istasyonlu dairesel sisteme sırasıyla 4, 1, 5, 2 ve 3 numaralı iş istasyonlarının yerleştirileceğini göstermektedir.

4	1	5	2	3
---	---	---	---	---

Şekil 3.1 TYDYP için bir çözümün genetik gösterimi

3.2 Başlangıç Popülasyonunun Türetilmesi

GA'yı diğer yöntemlerden ayıran diğer bir önemli özellik ise, noktadan noktaya değil, noktaların oluşturduğu bir popülasyon içinde aramayı gerçekleştirmesidir (Goldberg, 1989). GA, geliştirme esaslı bir sezgisel olduğundan bir başlangıç çözümüne ihtiyaç duymaktadır (Altıparmak ve Dengiz, 1998). Başlangıç popülasyonu, ya rassal olarak ya da problem için geliştirilmiş sezgisel yöntemlerden yararlanarak oluşturulabilir. Bu çalışmada, başlangıç popülasyonu rassal olarak türetilmiştir. Yerleşimin rassal olarak belirlenmesine rağmen algoritma, her iş istasyonunun kromozomda yalnızca ve mutlaka bir kez yer alması kısıtını bozmayacak şekilde çalışmaktadır. Burada π_0 sıralanacak iş istasyonlarının kümesini, n iş istasyonu sayısını, P ise bu istasyonların yerleşim sırasını göstermektedir.

Başlangıç popülasyonunun türetilmesi yordamı:

başla

$i \leftarrow 1;$

$\pi_0 \leftarrow \{1,2,3,\dots,n\};$

$P \leftarrow \emptyset;$

(i ≤ n) olduğu sürece tekrar et

başla

π_0 'dan rassal olarak bir iş istasyonu n' seç;

$P \leftarrow P \cup n';$

$\pi_0 \leftarrow \pi_0 \setminus n';$

$i \leftarrow i + 1;$

dur

Türetilen P sıralamasını kromozoma ata;

dur

3.3 Uyum Değerinin Hesaplanması ve Seçim Mekanizması

Genetik algoritmalarındaki uyum fonksiyonu, matematik programlamadaki amaç fonksiyonuna karşı gelmekte ve çözümün başarısını göstermektedir. Uyum değeri, eldeki kromozom için uyum fonksiyonunun aldığı değere eşittir ve hangi bireyin bir sonraki popülasyona taşınacağını belirler. Bu nedenle, algoritmanın her iterasyonunda

popülasyondaki tüm kromozomların uyum değeri hesaplanır. Bölüm 2.2’de verilen amaç fonksiyonları, ilgili problemlerin uyum fonksiyonu olarak kullanılmıştır.

Seçim mekanizması, mevcut popülasyondan bir sonraki kuşağa hangi aday çözümlerin (kromozom) aktarılacağını belirler. Bu işlem ile özel genetik yapıların bir sonraki popülasyona taşınması sağlanır. Literatürde çok çeşitli seçim mekanizmaları önerilmiştir. Bunlardan en yaygın kullanılanları, rulet çemberi ve turnuva seçim mekanizmalarıdır. Bu çalışmada, rulet çemberi seçim mekanizması kullanılmıştır. Bu mekanizmada, her bir kromozomun uyum gücü hesaplanır, bu güçle orantılı bir seçilme şansı verilir. Bu şansın, bireylere bir rulet çarkı üzerinde ayrılacak dilimlerin genişlikleriyle orantılı olacağı düşünülebilir. Bir ilk hareket vererek döndürülen çarkın, durduğunda geniş dilimlerinin sabit bir işaretin karşısına gelme olasılığı daha yüksektir. Bilgisayar ortamında, kavramca bu çarka benzeyen bir model kurulur. Burada türetilen rassal sayılar işaretin önünde duran noktaya karşı gelmekte, geniş sayı aralıklarıyla temsil edilen geniş dilimlere (başarılı bireylere) daha yüksek seçilme şansı tanınmaktadır (Austin, 1989).

Elde edilen en iyi uyum değerine sahip kromozomun örnekleme hatası veya genetik operatörler kullanımı sonucunda kaybolmasını önlemek amacıyla, bu seçim mekanizmasıyla beraber elitist seçim mekanizması da kullanılmıştır. Bu mekanizmada, önceki kuşaktaki en iyi birey yeni kuşakta üretilmemiş ise yeni popülasyonun en kötü bireyi önceki kuşağın en iyi bireyi ile değiştirilir.

3.4 Çaprazlama Operatörü

Biyolojideki kromozomların çaprazlanmasına karşı gelen bir çaprazlanma, sayı dizileri için de söz konusudur. Açıkça tanımlanmamış alt dizilerin kromozomlar arasında değiş-tokuş edildiği bu işlemle, iyi alt dizilerin çoğalıp yaygınlaşması beklenmektedir (Genetik Algoritmaların temel teoremi, uyum gücü yüksek alt dizilerin hızla çoğalacağını belirtmektedir).

Permütasyon türü kodlama kullanan GA’lar için literatürde pek çok çaprazlama operatörü önerilmiştir (PMX, OX, MPX vb.). Bu çalışmada çaprazlama operatörü olarak Davis, Goldberg ve Lingle tarafından geliştirilen (Gen and Cheng, 1997) *sıralı çaprazlama* (OX-Order Crossover) operatörü kullanılmıştır. Bu yöntemde öncelikle

rassal olarak iki ayrı kırılma noktası belirlenir. Birinci kromozomdan bu noktalar arasında kalan genler alınarak, birinci yeni kromozoma kopyalanır. Daha sonra, yeni kromozomun boş kalan konumları ikinci kromozomun birinci geninden başlanarak sırayla, yeni kromozomda olmayan iş istasyonları ile doldurulur. OX yönteminin işleyişi aşağıda P_1 ve P_2 şeklinde kodlanmış olan iki kromozom üzerinde gösterilmektedir:

P_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P_2	5	7	4	9	1	3	6	2	8

Kırılma noktası olarak 2 ve 6 noktaları belirlenmiş olsun. Bu durumda, P_1 'den alınan [3 4 5 6] alt dizisi yeni bireyin ilgili kısmına kopyalanır. Daha sonra yeni bireyde olmayan [7 9 1 2 8] alt dizisi ikinci bireyden alınır ve yeni bireyin boş kalan konumlarına bu sırayla atanır. Bu işlemler sonucunda elde edilen yeni birey O_1 , aşağıdaki şekildedir.

O_1	7	9	3	4	5	6	1	2	8
-------	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Aynı işlemler 2. birey temel alınarak da yapılır. Bu durumda elde edilen yeni birey O_2 [2 5 4 9 1 3 6 7 8] şeklinde olur.

3.5 Mutasyon Operatörü

Tabiattaki beklenmeyen ani değişikliklere karşı gelen mutasyon işlemi, kuşaklar ilerledikçe bütün bireylerin birbirlerinin aynısı olmaya başlamalarını engellemektedir. Çeşitliliğin artırılmasıyla çözüm uzayının dar bir bölgesine sıkışıp, bir alt en iyi çözüme takılma tehlikesinden kaçınılmakta, çözüm uzayının her noktasının taranmasına şans tanınmaktadır (İşlier, 2001).

GA'da önemli bir başka konu, eniyi çözüme yakınsamadır. GA, seçim mekanizması ile çözüm uzayının değişik noktalarına sıçramalar yapılabilmektedir. Ancak, uzayın bu noktasına yakın daha iyi çözümlerin olup olmadığının (yerel eniyi)

kontrolü yapılmamaktadır (Karaoğlan ve Altıparmak, 2005). Bu çalışmada, algoritmanın etkinliğini arttırmak için mutasyon operatörüne bir yerel arama algoritması adapte edilmiştir. Böylece daha iyi noktalara sıçrama mümkün olmaktadır. Bu amaçla, Tansel and Bilen (1998) tarafından TYDYP'nin çözümü için önerilen TAŞI (MOVE) sezgiselinden yararlanarak geliştirilen yeni bir mutasyon operatörü kullanılmıştır. Böylece daha iyi bir çözüme sıçrama yeteneğine sahip melez bir genetik algoritma elde edilmiştir.

Mutasyona uğrayacak kromozom ve gen

2	4	6	8	7	5	3	1
---	---	---	---	---	---	---	---

Komşu kromozomlar

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

Şekil 3.2 TAŞI sezgiseli kullanan melez mutasyon

Önerilen mutasyon operatörünün kullanılmasında önce herhangi bir kromozomdaki rastgele bir gen için bir rassal sayı türetilmektedir. Türetilen rassal sayı mutasyon oranından küçük veya eşit ise bu gen TAŞI yaklaşımıyla kromozomdaki bütün mümkün konumlara taşınır. Bu taşımlar için uyum değerleri hesaplanır ve amaç fonksiyonunda en büyük iyileşmeyi sağlayan taşıma benimsenir. Örneğin Şekil 3.2'deki kromozomun üçüncü geni, mutasyon için seçilmiş olsun. Bu gen, kromozomdaki birinci, ikinci, dördüncü, beşinci, altıncı, yedinci ve sekizinci konumlara taşınır. Bu taşımalardan herhangi birisi uyum değerini iyileştiriyorsa en fazla iyileşme sağlayan benimsenir ve bu kromozom yeni kromozom olarak popülasyona yerleştirilir. Aksi halde kromozom, mutasyon öncesindeki haliyle kalır. Bu işlemler popülasyondaki bütün kromozomlar için tekrarlanır.

3.6 Kullanılan Melez GA'nın Genel Yapısı

Geliştirilen melez GA'nın yapısı izleyen şekildedir:

başla

Parametreleri gir;

$t \leftarrow 0$;

Başlangıç popülasyonu $P(t)$ 'yi oluştur;

$P(t)$ 'yi değerlendir;

Çözümler yakınsayıncaya kadar tekrar et

başla

$t \leftarrow t + 1$;

$P(t-1)$ 'den $P(t)$ 'yi seç;

Çaprazlama için iki birey seç;

Çaprazlama ile yeni bireyler oluştur;

Mutasyon uygulanacaksa uygula;

$P(t)$ 'yi değerlendir;

Elitizm uygula;

dur**dur**

Algoritma popülasyon büyüklüğü, mutasyon ve çaprazlama oranı gibi genetik algoritma parametrelerini okuyarak başlamaktadır. Daha sonra popülasyon büyüklüğü kadar birey, rassal olarak türetilmektedir. Her bir kromozomun uyum değeri hesaplandıktan sonra bir sonraki kuşağa aktarılacak bireyler, rulet çemberi yöntemiyle belirlenmektedir. Rassal olarak belirlenen iki birey, OX operatörü kullanılarak çaprazlanmaktadır. Popülasyon büyüklüğünü sabit tutabilmek için yeni bireyler, çaprazlamadan önceki bireyle değiştirilir. Yeterince çaprazlama yapıldıktan sonra mutasyona uğrayacak gen, rassal olarak seçilir ve bu gen, uyum değerinde iyileşme yapacak konuma taşınarak mutasyona uğratılır. Son olarak da, iyi çözümlerin kaybolmaması amacıyla geçmiş kuşaklardaki en iyi birey, şimdiki kuşağın en kötü bireyi ile değiştirilir (elitizm). Belirli sayıda kuşak (bu çalışmada 100 olarak alınmıştır) boyunca çözümde herhangi bir değişiklik olmayınca, daha fazla bir iyileşme elde etme şansı düşük olduğundan algoritma durdurulmaktadır.

3.7 GA'nın Melezlenmesinin Algoritmanın Performansı Üzerindeki Etkisi

GA'nın TAŞI sezgiseli ile melezlenmesinin, algoritmanın performansı üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla TAŞI sezgiselini kullanan mutasyon operatörü (TAŞI mutasyon operatörü), farklı mutasyon operatörleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma için permütasyon türü kodlama kullanan GA'larda yaygın olarak

kullanılan üç operatör seçilmiştir. Bunlar, ikili değişim (reciprocal exchange), komşu değişim (adjacent interchange) ve araya ekleme (insertion) mutasyon operatörleridir. İkili değişim mutasyon operatöründe (Şekil 3.3) rassal olarak seçilen iki gen karşılıklı yer değiştirirken, komşu değişim operatöründe (Şekil 3.4) rassal olarak seçilen bir gen yanındaki (sağındaki, eğer kromozomun en son geni seçilmiş ise solundaki) gen ile karşılıklı yer değiştirir. Araya ekleme mutasyon operatöründe ise rassal olarak seçilen bir gen, rassal olarak seçilen bir konumdan genlerin arasına eklenir (Şekil 3.5). Dikkat edilecek olursa TAŞI mutasyon operatörü, araya ekleme mutasyon operatörü ile aynı mantığı kullanmakta ancak TAŞI operatöründe rassal olarak seçilen gen rassal bir konuma değil, tüm mümkün konumlara taşınarak içlerinden eniyi uyum değerini veren seçilmektedir.

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

Şekil 3.3 İkili değişim mutasyon operatörü

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

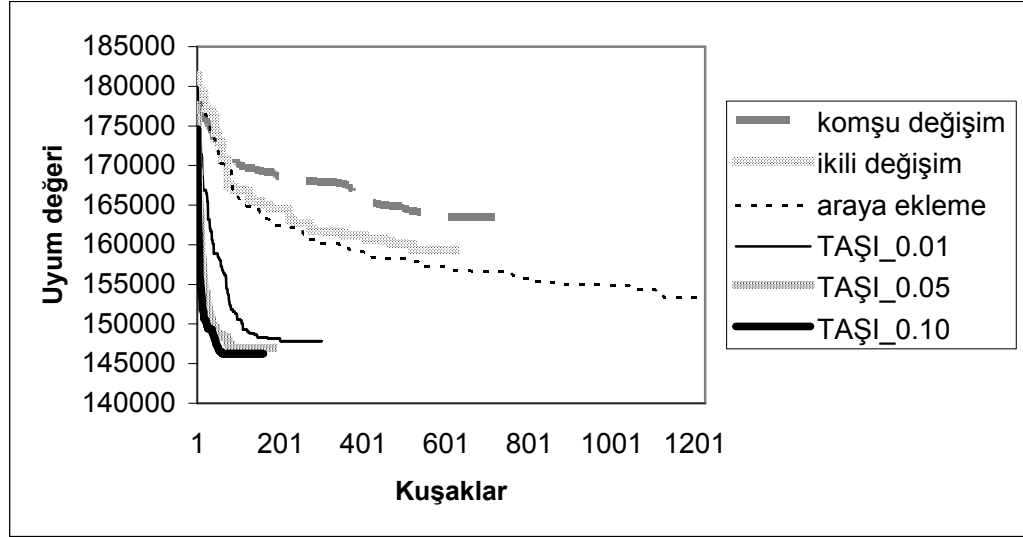
Şekil 3.4 Komşu değişim mutasyon operatörü

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

Şekil 3.5 Araya ekleme mutasyon operatörü

Dikkate alınan mutasyon operatörlerinin performansını test etmek amacıyla, 50 istasyonlu Bal50_1 problemi ele alınmıştır. Yapılan ön denemeler sonucunda mutasyon oranı 0.01 olarak seçilmiştir. Ancak yerel arama ile melezlenen TAŞI mutasyon

operatöründe, daha fazla mutasyon uygulamanın algoritmanın performansına olan etkisini görebilmek amacıyla bu operatör 0.01, 0.05 ve 0.10 oranlarında uygulanmıştır.



Şekil 3.6 Melez GA'nın farklı mutasyon operatörleri ve oranları için yakınsama grafiği

İncelenen altı farklı durumda Bal50_1 problemi için melez GA'nın yakınsama grafiği, Şekil 3.6'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde, yerel aramayı kullanmayan ve tamamen rassal olarak aramayı gerçekleştiren üç mutasyon operatöründen en iyisinin araya ekleme operatörü olduğu görülmektedir. Ancak rassallığın bir miktar bozulması ve yerel arama ile güçlendirilmesi ile elde edilen TAŞI mutasyon operatörü, bu üç operatörden daha iyi çözümlere ulaşmaktadır. Ayrıca mutasyon oranı arttıkça, TAŞI operatörünün başarısı dolayısıyla algoritmanın başarısı artmaktadır. Mutasyon oranının artırılması çözüm süresini arttırdığı için daha yüksek mutasyon oranları incelenmemiş ve mutasyon oranı olarak 0.10 seçilmiştir.

3.8 Geliştirilen Algoritmanın Sınanması

Geliştirilen melez genetik algoritma hem tek Y/B istasyonlu hem de n Y/B istasyonlu TYDYP'ne uygulanmıştır. Çözülen tüm problemlerde popülasyon büyüklüğü 20, çaprazlama oranı 0.05 ve mutasyon oranı 0.10 olarak alınmıştır.

Tek Y/B istasyonlu TYDYP için dengeli-eşit uzaklıklı ve dengesiz-eşit uzaklıklı durumlar ele alınmıştır. Dengeli akış durumunda dengeli-eşit uzaklıklı olmayan TYDYP, dengeli-eşit uzaklıklı TYDYP'ne eşdeğer olduğundan (Bölüm 2.1.2) dengeli-eşit uzaklıklı olmayan TYDYP de sınanmış olmaktadır. Bu durumda uzaklık ve akış matrisinin özelliğine göre oluşan dört TYDYP'nde üçü, geliştirilen genetik algoritma ile çözülmektedir. Diğer durumda TYDYP, KAP olarak modellenip çözüldüğü için KAP için geliştirilen çözüm yöntemlerinden herhangi birisi kullanılabilir.

Tek Y/B istasyonlu ENK-ENB ve ENK-TOP TYDYP'nin her ikisi de melez GA kullanılarak çözülmüştür. Bu iki problem arasındaki ödünleşme fark edilerek iki ölçütlü bir model önerilmiş ve bu model de melez GA ile çözülmüştür.

3.8.1 Tek Y/B istasyonlu, eşit uzaklıklı TYDYP

Önerilen algoritmanın eşit uzaklıklı TYDYP'ndeki başarısını sınamak amacıyla Altinel and Öncan'dan (2005) alınan problem seti kullanılmıştır. Yazarlar 10, 20, 30, 40 ve 50 iş istasyonunun birbirine tek yönlü dairesel malzeme aktarma sistemiyle bağlı olduğu beş farklı EÜS'ni ele almışlardır. Beş sistemde de 50 farklı parça üretilbildiğini varsaymışlardır. Akış matrislerini rassal olarak türetmişlerdir. Her bir parçadan ne kadar işleneceğini $U(1,10)$, $U(1,50)$ ve $U(1,100)$ olmak üzere düzgün dağılıma uygun türetmişler ve bunları sırasıyla düşük (**Low**), orta (**Medium**) ve yüksek (**High**) değişkenlikli parça akışları olarak tanımlamışlardır. Her değişkenlik tipi için 10'ar problem türetmişlerdir. Örneğin UnBal20-M, 20 iş istasyonunun ve orta değişkenlikte parça akışının olduğu 10 test problemini içermektedir. Bal20-M paketi, onun dengeli halidir. Tanımlanan özellikleri taşıyan dengeli ve dengesiz toplam 300 test problemi türetmişlerdir.

Geliştirilen algoritma bu test problemleri kullanılarak sınanmış, sonuçlar Çizelge 3.1, Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'de özetlenmiştir. Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2 sırasıyla dengeli ve dengesiz örnekler için 10'ar problemden oluşan her bir problem paketi için sapma yüzdelerinin ortalamasını göstermektedir. Sapma yüzdeleri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$100 * \frac{(\text{Üst sınır} - \text{Alt sınır})}{(\text{Alt sınır})} \quad (35)$$

Burada üst sınır, melez GA ile elde edilen toplam taşıma maliyetine, alt sınır da Altinel and Öncan'ın (2005) gevşetilmiş modelinin verdiği en iyi değere karşı gelmektedir. Bu model, GAMS programında CPLEX v. 8.0 çözücüsü kullanılarak çözülmüştür. Örnek olarak Bal10-1 probleminin çözümü için yazılan GAMS kodu Ek.1'de verilmiştir.

Çizelgelerin ilk sütunu, test problemlerine karşı gelmektedir. Bu problemler, Altinel and Öncan (2005) tarafından değiştir (EX), yeniden ata (RE), girdi-çıkı oranı (OI), sırala ve ters çevir (SR) ile taşı ve ters çevir (MR) sezgiselleri ile çözülmüştür. Yazarlar, önerdikleri bu sezgiselleri KK3, TAŞI, karşılıklı değişim (SWAP), üçlü yer değiştirme (3WI) ve Lee-Huang-Chiang (LHC) sezgiselleri ile karşılaştırmışlardır. Melez GA'nın ortalama performansını belirleyebilmek amacıyla algoritma, her problem için beşer kez çalıştırılmıştır. Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'deki çizelgelerin son iki sütunu, ilgili problem paketi için bu beş tekrar sonucunda elde edilen eniyi ve ortalama değerler kullanılarak hesaplanan alt sınırdan sapma yüzdelerinin ortalamasını göstermektedir. Çizelgelerin son üç satırında sütun ortalamaları (UnBalOrt, BalOrt), en küçük (UnBalEnkOrt, BalEnkOrt) ve en büyük (UnBalEnbOrt, BalEnbOrt) sapma yüzdeleri verilmektedir. Bu değerler, GA'nın performansını problem boyutunu ve değişkenliğini dikkate almadan genel olarak değerlendirebilmek amacıyla hesaplanmıştır. Sütun ortalamaları UnBalOrt ve BalOrt, sırasıyla dengesiz ve dengeli problemlerde görülen sapma yüzdesi ortalamalarının ortalamasıdır (Yani GA sütunundaki değerlerin ortalamasıdır). En küçük sapma yüzdeleri UnBalEnkOrt ve BalEnkOrt, sırasıyla dengesiz ve dengeli problemlerde görülen en küçük sapma yüzdelerinin (her bir problem paketindeki 10 problem için görülen en küçük sapma yüzdelerinin) ortalamasıdır. En büyük sapma yüzdeleri UnBalEnbOrt ve BalEnbOrt ise en küçük sapma yüzdelerinin en büyük değerler için olanıdır. Çizelgenin sütunları sütun ortalamalarına göre azalan şekilde sıralanmıştır.

Çizelge 3.1 Alt sınırdan ortalama sapma yüzdeleri: Dengeli durum

Problem paketi	KK3	LHC	SWAP	SR	3WI	EX	MOVE	RE	MR	GA	
										Enk	Ort
Bal10-L	3.08	1.75	1.27	1.46	0.36	1.20	0.30	0.30	0.03	0.00	0.00
Bal10-M	1.69	1.53	1.12	0.47	0.37	1.12	0.09	0.13	0.00	0.00	0.00
Bal10-H	2.72	1.94	1.44	1.76	0.92	1.42	0.22	0.36	0.14	0.00	0.00
Bal20-L	5.66	4.84	3.89	3.00	2.57	2.42	0.90	0.90	0.79	0.06	0.29
Bal20-M	5.44	4.31	4.12	2.25	2.39	2.28	0.99	0.99	0.48	0.008	0.18
Bal20-H	5.63	4.21	4.15	2.81	2.74	2.51	1.62	1.44	0.81	0.005	0.207
Bal30-L	7.18	6.26	5.12	4.87	4.31	3.59	2.13	1.95	1.93	0.54	1.016
Bal30-M	8.07	6.16	5.70	4.45	4.24	3.45	2.38	2.01	1.76	0.46	0.86
Bal30-H	8.31	6.38	6.35	4.97	4.37	3.85	2.52	2.19	1.60	0.68	1.12
Bal40-L	10.20	7.97	7.62	5.80	5.98	5.15	4.39	4.38	3.58	1.19	2.00
Bal40-M	10.49	7.75	7.80	6.31	5.94	5.90	3.65	3.46	2.99	1.52	2.30
Bal40-H	10.23	7.61	7.46	6.36	5.81	5.11	3.39	3.36	3.35	1.55	1.94
Bal50-L	11.89	9.66	9.34	8.18	7.60	7.14	5.64	5.60	4.81	3.16	3.65
Bal50-M	12.70	9.52	9.48	8.02	7.55	7.29	5.78	5.57	5.27	3.20	3.67
Bal50-H	12.65	9.55	10.24	8.26	7.64	7.36	5.66	5.56	5.29	2.62	3.41
BalOrt	7.73	5.96	5.67	4.60	4.19	3.99	2.64	2.55	2.19	0.999	1.38
BalEnkOrt	5.56	3.70	3.68	2.93	2.34	1.48	1.57	1.52	1.28	0.57	0.96
BalEnbOrt	10.05	8.34	7.79	6.51	6.09	5.85	4.25	4.21	3.30	1.48	1.81

Çizelge 3.2 Alt sınırdan ortalama sapma yüzdeleri: Dengesiz durum

Problem paketi	OI	KK3	SWAP	LHC	SR	3WI	EX	MOVE	RE	MR	GA	
											Enk	Ort
UnBal10-L	3.86	2.46	1.35	2.67	1.30	0.28	0.48	0.33	0.14	0.01	0.00	0.00
UnBal10-M	4.94	4.80	1.80	1.96	1.26	0.56	1.40	0.55	0.26	0.16	0.00	0.00
UnBal10-H	4.65	3.98	2.14	2.17	1.43	0.79	1.38	0.64	0.40	0.01	0.00	0.00
UnBal20-L	9.02	7.98	4.62	4.61	3.55	3.21	2.18	1.49	1.24	0.65	0.08	0.26
UnBal20-M	7.85	6.52	4.61	3.83	2.98	3.04	2.07	1.07	0.90	0.63	0.08	0.25
UnBal20-H	8.57	8.04	3.92	4.16	2.78	2.41	2.33	1.24	1.18	0.71	0.04	0.31
UnBal30-L	11.67	10.52	5.97	6.24	4.29	4.71	4.11	2.79	2.55	2.06	0.82	1.17
UnBal30-M	12.23	10.89	7.12	5.80	4.24	4.53	3.94	2.09	1.90	1.45	0.50	0.91
UnBal30-H	9.80	9.82	5.81	6.35	3.61	4.20	3.54	2.15	1.78	1.18	0.64	1.12
UnBal40-L	13.96	13.49	8.47	6.88	6.13	5.89	4.91	3.97	3.72	3.48	1.73	2.21
UnBal40-M	13.75	12.78	7.83	7.69	6.40	5.82	4.96	3.43	3.39	2.98	2.04	2.63
UnBal40-H	14.34	12.86	7.59	8.22	6.28	6.26	5.66	4.11	3.82	3.51	1.77	2.45
UnBal50-L	16.17	15.77	10.82	9.78	8.32	7.14	6.99	5.32	5.16	4.91	3.22	3.93
UnBal50-M	15.13	15.47	8.84	8.96	7.67	6.93	6.81	5.36	4.95	4.72	3.25	3.85
UnBal50-H	16.06	15.54	10.41	10.54	7.82	8.24	7.04	6.08	5.82	5.08	2.99	3.76
UnBalOrt	10.80	10.06	6.09	5.99	4.54	4.27	3.85	2.71	2.48	2.10	1.14	1.52
UnBalEnkOrt	7.88	7.41	4.07	3.47	2.79	2.27	2.19	1.47	1.30	1.30	0.64	1.02
UnBalEnbOrt	13.90	12.99	8.23	8.69	6.80	6.06	5.85	4.32	4.14	3.18	1.78	2.16

Çizelge 3.3 Çözümün bulunduğu ortalama kuşak sayısı ve çözüm süresi (sn)

Prb paketi	Ort kuşak	Ort süre	Prb paketi	Ort kuşak	Ort süre
Bal10-L	4,8	0	UnBal10-L	4,3	0
Bal10-M	4,6	0	UnBal10-M	5,6	0
Bal10-H	5,2	0	UnBal10-H	5,5	0
Bal20-L	22,5	1,1	UnBal20-L	23,8	1,2
Bal20-M	19,5	0,9	UnBal20-M	27,2	1,3
Bal20-H	25,8	1,3	UnBal20-H	25,4	1,2
Bal30-L	41,5	18,5	UnBal30-L	50	22,4
Bal30-M	44	19,6	UnBal30-M	44,2	19,8
Bal30-H	42,8	19,2	UnBal30-H	40,8	18,2
Bal40-L	52,5	95,3	UnBal40-L	65,6	117,5
Bal40-M	61,1	108,7	UnBal40-M	59,6	106,8
Bal40-H	58,2	104,4	UnBal40-H	55,5	100
Bal50-L	71,1	370,2	UnBal50-L	64,4	327,5
Bal50-M	64	331,9	UnBal50-M	97,6	493,3
Bal50-H	67,4	349,8	UnBal50-H	86,6	442,1
Ortalama	39	94,727	Ortalama	43,74	110,09

GA, eşit uzaklıklı TYDYP için karşılaştırılan yöntemler içinde en iyi olan MR yönteminden dengeli durumda %54, dengesiz durumda da %45 daha düşük alt sınırdan ortalama sapma yüzdesine sahip çözümler türetmiştir. Algoritmanın ortalama performansı da MR yönteminden dengeli durumda %37, dengesiz durumda %27 daha iyidir.

Çizelge 3.3'ün ikinci ve beşinci sütunu sırasıyla dengeli ve dengesiz durumda, önerilen melez GA ile her bir problem paketi (10'ar test problemi) için çözüme ortalama kaç kuşakta ulaşılabildiğini göstermektedir. Üçüncü ve altıncı sütunlarda ise bunlara karşı gelen çözüm süreleri verilmektedir. Süreler donanım ve kod bağımlı olduğundan, çözüm sürelerinin göstergesi olarak ortalama kuşak sayısının daha gerçekçi bir ölçüt olduğu düşünülmektedir. Çizelgenin son satırı, ait olduğu sütunun ortalamasını vermektedir. Bütün test problemleri 256 MB RAM'e sahip bir Pentium IV bilgisayarda çözülmüştür.

10 ve 20 büyüklüğündeki problemler Bozer and Rim'in (1989) önerdiği gevşetilmiş modeldeki gevşetme kaldırılarak GAMS programında çözülmüştür. Örnek olarak Bal10-1 problemi için GAMS kodu Ek.2'de verilmiştir. 10 büyüklüğündeki tüm problemlerde, Bozer and Rim'in (1989) sıkı modeli ile bulunan tüm eniyi çözümlere Altinel and Öncan'ın (2005) gevşetilmiş modeli ile ve önerilen GA ile ulaşılmıştır. 20

büyükliğindeki problemde de alt sınırdan sapma görülmesine rağmen bu gruptaki problemlerin hepsinde (hem dengeli hem de dengesiz) sıkı değerlere (kısıtların eşitlik halinde olması durumu) ulaşılmıştır (Ek.3 ve Ek.4). Sıkı modelin en iyi çözümleri üretmediği yönünde bir bilgi olmadığı için GA ile 10 ve 20 büyüklüğündeki problemlerde eniyi çözümlere ulaşıldığı söylenebilir. Ancak dikkat edilmesi gereken bir nokta vardır. Melez GA, 20 büyüklüğündeki dengeli problemlerde eniyi çözüme ortalama 1,1 saniyede ulaşırken tam sayılı programlama ile ortalama 2,97 saniyede ulaşabilmektedir. Aynı büyüklükteki dengesiz problemlerde bu süreler melez GA için 1,23 ve tam sayılı programlama için 3,49 olmaktadır. Daha büyük problemlerde çözüm süresi oldukça (50 boyutlu problem için 1.6 GHz bilgisayarda CPLEX çözücüsü ile bir haftada en iyi çözüme ulaşamamıştır) uzun olduğundan böyle bir araştırma yapılamamıştır. Ancak örnek olması amacıyla Bal30-1 problemi incelenmiştir. Bu problemin en iyi çözümü olan 50340 değerine melez GA ile 26 saniyede, tam sayılı programlama ile de 387.125 saniyede ulaşılmıştır. Problemin büyüklüğündeki artışla çözüm süresinde meydana gelen artış dikkat çekicidir. Bu da problemin zorluğunun bir göstergesidir. Ayrıca bu problem için alt sınır 50190 olarak bulunduğundan melez GA'nın çözümü en iyi olmasına rağmen alt sınırdan sapma söz konusudur. Çözümler en iyi çözüm yerine alt sınır ile karşılaştırıldığından melez GA'nın başarısı tam olarak gösterilememektedir.

3.8.2 Tek Y/B istasyonlu ENK-ENB ve ENK-TOP TYDYP

ENK-ENB TYDYP'nde amaç, her bir parça için en büyük fazladan tur sayısının enküçüklenmesi, ENK-TOP TYDYP'nde ise sistemdeki bütün parçalar için toplam fazladan tur sayısının enküçüklenmesidir. ENK-TOP ölçütü, *sistemin bütünleşik tıkanıklığını enküçükmeyi* hedeflerken ENK-ENB ölçütü, *parçalar arasında daha dengeli bir tıkanıklık* hedefler. ENK-ENB ölçütü, sistemin dinamik yönünü dikkate almak ve dönemden döneme farklılık gösteren üretilen parça miktarı ve çeşitliliğindeki değişimi ve belirsizliği açıklamaya çalışma çabasından ötürü ele alınmıştır (Leung, 1992). Genellikle ENK-ENB ölçütü, ailedeki bütün parçalar için oluşacak tur sayısına en kötü durum garantisi sağladığından ENK-TOP ölçütüne göre daha tutarlı bir yaklaşımdır (Cheng and Gen, 1998).

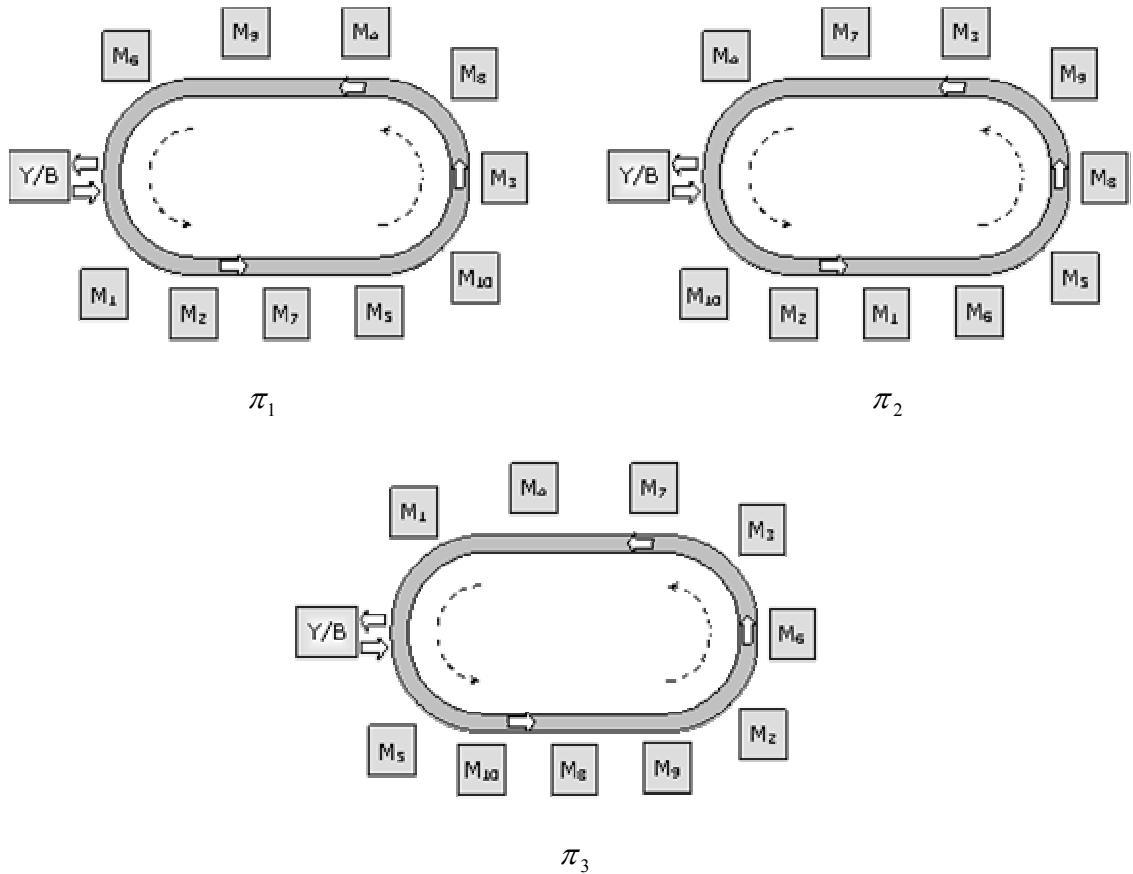
Birkaç dönemde üretilen tüm parçalar için toplam fazladan tur sayısını enküçükleyen bir yerleşimle, bazı parçalar için az sayıda fazladan tur, diğerleri için de oldukça fazla sayıda fazladan tur görülebilir (Leung, 1992). Bunu bir örnekle açıklayalım. 10-tezgah, 3-parça problemini ele alalım. Her parça için işlem sırası Çizelge 3.4’de verilmiştir. Eğer bu dairesel sistem için Şekil 3.7’deki π_1 yerleşimi uygulanacak olursa bu üç parça, işlemleri tamamlanıncaya kadar sırasıyla 2, 2 ve 1 defa fazladan tur atarlar. O halde bu yerleşim için enbüyük fazladan tur sayısı ($c_3(\pi_1)$) 2, toplam fazladan tur sayısı ($c_4(\pi_1)$) 5’dir. π_2 yerleşiminde fazladan tur sayıları 0, 3 ve 1 olur. Bu durumda $c_3(\pi_2)$ 3’e, $c_4(\pi_2)$ 4’e eşittir. Diğer yerleşim π_3 ’de ise sırasıyla 2, 1 ve 0 adet fazladan tur görülür ve $c_3(\pi_3) = 2$ ve $c_4(\pi_3) = 3$ olur.

Çizelge 3.4 Parçaların rotaları

Parçalar	Tezgah sıraları
1	1→6→5→8→9→3→4
2	10→8→7→5→9→6→1
3	9→2→7→4

Eğer Şekil 3.7’deki π_1 ve π_2 yerleşimleri ENK-ENB ölçütüne göre birbirleriyle karşılaştırılırsa $c_3(\pi_1) < c_3(\pi_2)$ olduğundan ilk yerleşim tercih edilir. Fakat ölçütümüz ENK-TOP ise ikinci yerleşim π_2 tercih edilir. Eğer bu üç yerleşim ENK-ENB ölçütüne göre değerlendirilecek olursa π_1 ve π_3 yerleşimleri alternatif çözümlerdir ve herhangi birisi seçilebilir. Ancak dikkat edilecek olursa π_1 yerleşimi yerine π_3 yerleşimi uygulandığında toplam fazladan tur sayısı 5 değil 3 olacaktır. Bu, taşıma maliyetlerini etkilediği için önemli bir farktır. O halde tek bir ölçüt kullanılarak diğer ölçüt, sonuçları etkilemesine ve önemli olmasına rağmen ihmal edilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada her iki ölçütü de dikkate alacak şekilde iki ölçütlü bir yapı kullanılmıştır.

Herhangi bir π yerleşiminde her k parçası için fazladan tur sayısı en fazla $m_k - 1$ kadar olabilir. Burada m_k , k parçasının üretimi için gerekli işlem sayısıdır. Üretilen tüm parçalar için en büyük $m_k - 1$ değeri, ENK-ENB ölçütünün alabileceği en kötü değerdir ve c_{3ek} ile gösterilir. Aynı şekilde ENK-TOP ölçütü için en kötü durumdaki değer, üretilen tüm parçalar için görülebilecek en fazla fazladan tur sayısının toplamı ile bulunur ve c_{4ek} ile gösterilir.



Şekil 3.7 ENK-ENB ve ENK-TOP ölçütleri arasındaki ödünleşme

$c_3(\pi)$ ve $c_4(\pi)$, bunları sırasıyla c_{3ek} ve c_{4ek} 'e bölerek normalize edilmiştir. Bu durumda $c_{3ek} = \text{enb}_{\forall k \in P} \{m_k - 1\}$ ve $c_{4ek} = \sum_{k=1}^P (m_k - 1)$ iken aşağıdaki fayda fonksiyonu elde edilir.

$$c(\pi) = \frac{c_3(\pi)}{c_{3ek}} + \frac{c_4(\pi)}{c_{4ek}} \quad (36)$$

c_{3ek} ve c_{4ek} değerleri yerleşimden bağımsızdır, yalnızca parça rotalarına bağlıdır. Bu nedenle bir problem için sabittir. İncelenen 10-tezgah 3-parça probleminde parça 1 için en büyük fazladan tur sayısı altı, parça 2 için altı ve parça 3 için üçtür. O halde bu problem için ENK-ENB ölçütünün alabileceği en kötü değer $c_{3ek} = enb\{6,6,3\} = 6$ olur. Aynı şekilde ENK-TOP ölçütü için en kötü değer $c_{4ek} = 6 + 6 + 3 = 15$ olur. Bu veriyi kullanarak şimdi $c(\pi)$ 'nin değerini hesaplayabiliriz. İncelenen üç yerleşim alternatifi için iki ölçütlü fonksiyonun değeri, π_1 için 0.667, π_2 için 0.767 ve π_3 için 0.533 olarak bulunur. Sonuçlardan görüldüğü gibi en iyi yerleşim π_3 yerleşimidir. Daha önce söylendiği gibi eğer ENK-ENB ölçütü kullansaydı bu çözüm elde edilemeyebilirdi. Ancak iki ölçütlü yaklaşımla π_3 yerleşimi yakalanmış oldu.

İki ölçütlü yaklaşımda ölçütlerin en kötü değerleriyle normalleştirilmesi farklı problemler için farklı paydalar türeterek dinamik bir yapı sağlarken aynı problem için aynı paydayı türeterek doğru bir karşılaştırma fırsatı sağlamaktadır. Böylece ölçütler, ağırlıklandırma yöntemindeki gibi sabit ağırlıklar yerine değişken (dinamik) ağırlıklarla ağırlıklandırılmış olmaktadır.

Bu amaç fonksiyonu, geliştirilen melez GA'nın uyum fonksiyonu olarak kullanılarak, önerilen algoritmanın ve iki ölçütlü yaklaşımın performansı test edilmiştir. Bu amaçla Nearchou'nun (2006) rassal olarak türettiği test problemleri kullanılmıştır. Öncelikle küçük problemler çözülmüştür. Bu grupta 10-tezgah 3-parça, 20-tezgah 5-parça, 15-tezgah 9-parça ve 30-tezgah 10-parça problemleri bulunmaktadır.

Algoritma her problem için ENK-ENB, ENK-TOP ve İKİ-ÖLÇ ölçütleri için ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Çözümler, parantez içindeki iki sayı ile kodlanmıştır. Parantez içindeki ilk sayı çözümdeki en büyük fazladan tur sayısını, ikinci sayı ise toplam fazladan tur sayısını göstermektedir.

Çizelge 3.5'nin ilk sütununda çözülen dört problem belirtilmektedir. Her problem için üç satır ayrılmıştır. Bu satırlarda sırasıyla ENK-ENB, ENK-TOP ve İKİ-

ÖLÇ ölçütleriyle elde edilen çözümler verilmiştir. Nearchou (2006) iki ölçütlü yaklaşımı dikkate almadığı için yazarın önerdiği evrimsel gelişim algoritmasının (EGA) bu satıra karşı gelen hücresi boş bırakılmıştır. Her problem için elde edilen çözümlerden en iyi olanı koyu olarak işaretlenmiştir. 10-tezgah 3-parça problemi için EGA ile aynı çözümü elde edilmiştir. 20-tezgah 5-parça problemi için her üç durumda da melez GA ile EGA'dan daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. 15-tezgah 9-parça ve 30-tezgah 10-parça problemi için iki ölçütlü yaklaşımla diğer ölçütlerle elde edilemeyen ve onlardan daha iyi çözümler elde edilmiştir. İncelenen tüm problemlerde melez GA ile EGA ile aynı veya ondan daha iyi çözümler elde edilmiştir. Çizelgenin son iki sütununda saniye cinsinden çözüm süreleri verilmiştir.

Çizelge 3.5 Küçük problemler için sonuçlar

Problem	Ölçüt	Çözüm		Çözüm süreleri (sn)	
		<i>EGA</i>	<i>Melez GA</i>	<i>EGA</i>	<i>Melez GA</i>
10-tezgah 3-parça	ENK-ENB	(2, 3)	(2, 3)	0.5	*
	ENK-TOP	(2, 3)	(2, 3)	0.4	*
	İKİ-ÖLÇ		(2, 3)		*
20-tezgah 5-parça	ENK-ENB	(5, 23)	(5, 21)	2.2	*
	ENK-TOP	(6, 17)	(4, 16)	3.3	*
	İKİ-ÖLÇ		(4, 16)		*
15-tezgah 9-parça	ENK-ENB	(4, 28)	(4, 28)	14.9	*
	ENK-TOP	(4, 24)	(4, 24)	9.0	*
	İKİ-ÖLÇ		(3, 24)		*
30-tezgah 10-parça	ENK-ENB	(9, 68)	(9, 64)	2.4	7
	ENK-TOP	(12, 53)	(8, 50)	3.6	7
	İKİ-ÖLÇ		(8, 49)		14

*Neredeyse sıfır saniye

Problemin büyüklüğü arttıkça iki ölçütlü yaklaşımın başarısının artması ve melez GA'nın EGA'dan daha iyi çözümler bulması üzerine algoritmanın performansı daha büyük bir problemde test edilmiştir. Bu amaçla yine Nearchou (2006) tarafından türetilen 50-tezgah 10-parça problemi kullanılmıştır. Yazar, bu özellikte 100 test problemi üretmiştir. Melez GA, her problem için beşer kez çalıştırılmış ve çözüm kalitesi ve süresinin ortalaması alınmıştır. Çizelge 3.6, 100 problemin ENK-ENB, ENK-TOP ve İKİ-ÖLÇ ölçütleri ile çözülmesi sonucunda elde edilen ortalama en büyük ve ortalama toplam fazladan tur sayılarını ve ortalama işlem sürelerini göstermektedir.

Çizelge 3.6’da görüldüğü gibi, melez GA ile ENK-TOP ölçütü için EGA’dan %10.77 daha iyi bir çözüm, ENK-ENB ölçütü için de %3.6 daha kötü bir çözüm elde edilmiştir. Ancak burada dikkate edilmesi gereken nokta, iki ölçütlü yaklaşımın başarısıdır. İki ölçütlü yaklaşımla EGA’nın bulduğu çözümlerden çok daha düşük en büyük ve toplam fazladan tur sayısına sahip bir çözüm bulunabilirken bu, EGA gibi iki ayrı çözümde değil bir çözümde sağlanabilmektedir. İki ölçütlü yaklaşımın kullanılması işlem süresinde bir miktar artışa neden olmasına rağmen bu süre (yaklaşık 50 saniye) kabul edilebilir sınırlardadır.

Çizelge 3.6 50-tezgah 10-parça problemi için sonuçlar

Ölçüt	Çözüm		İşlem süreleri (sn)	
	<i>EGA</i>	<i>Melez GA</i>	<i>EGA</i>	<i>Melez GA</i>
ENK-ENB	(13.9, -----)	(14.4, 104.9)	1.7	25.55
ENK-TOP	(-----, 79.2)	(13.31, 70.67)	3.6	40.89
İKİ-ÖLÇ		(10.7, 72.6)		49.98

3.8.3 n Y/B istasyonlu TYDYP

Geliştirilen algoritmanın halka konveyör yerleşim problemlerindeki performansı Bozer and Hsieh’in (2005) çalışmalarından alınan bir örnekle test edilmiştir. Yazarlar, 10 yükleme ve 10 boşaltma istasyonlu bir halka konveyör sistemini dikkate almışlardır. Bu konveyör sistemi için akış ve uzaklık matrisi, Çizelge 3.7 ve Çizelge 3.8’de verilmiştir. Yükleme istasyonlarına parça gelişi (λ_i) Poisson dağılımına uygundur ve yükleme istasyonlarına sırasıyla dakikada ortalama 48.75, 42, 28.5, 28.5, 37.125, 13.5, 27, 33.75, 4.5, 4.5 parça gelişi olmaktadır. Konveyörün hızı sabit ve 180 cm/dk olarak verilmiştir.

Bu halka konveyör sisteminde karşılaşılan yerleşim problemi, geliştirilen melez GA kullanılarak çözülmüştür. Algoritma, Bozer and Hsieh’in (2005) önerdiği şekilde KAP-temelli eniyileme problemi (1. tip model) ve kararlılık-temelli eniyileme problemi (2. tip model) için çalıştırılmıştır. İncelenen 10 yükleme ve 10 boşaltma istasyonlu halka konveyör sistemi için elde edilen sonuçlar Çizelge 3.9’da verilmiştir.

Çizelge 3.7 Akış matrisi (parça/dakika)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	6,75	16,875	0	0	0	10,125	0	15
2	6,75	0	35,25	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	10,125	0	16,875	0	1,5	0
4	0	10,125	0	0	16,875	0	0	0	0	1,5
5	0	0	0	10,125	0	16,875	0	10,125	0	0
6	0	0	0	0	0	0	13,5	0	0	0
7	6,75	6,75	0	0	0	0	0	13,5	0	0
8	13,5	10,125	0	0	10,125	0	0	0	0	0
9	3	0	0	0	0	0	0	0	1,5	0
10	0	0	1,5	0	3	0	0	0	0	0

Çizelge 3.8 Uzaklık matrisi (cm)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	0	2	4	9	11	17	22	29	36	42
B	44	0	1	6	8	14	19	26	33	39
C	40	45	0	2	4	10	15	22	29	35
D	37	42	44	0	1	7	12	19	26	32
E	33	38	40	45	0	3	8	15	22	28
F	27	32	34	39	41	0	2	9	16	22
G	22	27	29	34	36	42	0	4	11	17
H	15	20	22	27	29	35	40	0	4	10
I	8	13	15	20	22	28	33	40	0	3
J	2	7	9	14	16	22	27	34	41	0

Çizelgenin ilk iki satırında 1. tip, son iki satırında da 2. tip modelin GA ile çözümü sonucunda elde edilen sonuçlar ve Bozer and Hsieh'in (2005) sonuçları yer almaktadır. 1. tip modelde kararlılık faktörüne üst sınır k 'nın değeri 1 olarak alınmıştır. Dikkate alınan her iki model için elde edilen en iyi değerler koyu olarak işaretlenmiştir. Sonuçlar incelenecek olursa en iyi kararlılık faktörü değeri, 2. tip model ile elde edilmiştir. Bu modelde amaç sadece kararlılık faktörünün eniyilenmesi olduğu için bu beklenen bir durumdur. Aynı şekilde, konveyördeki süreç içi stok miktarı için en düşük değer, 1. tip model ile elde edilmiştir. GA ile her iki model için de Bozer and Hsieh'in (2005) tavlama benzetimi ile buldukları sonuçlardan çok daha iyi sonuçlara ulaşılmıştır. 1. tip model için mevcut çözüm %50, 2. tip model için de %35 oranında iyileştirilmiştir.

Çizelge 3.9 1. tip ve 2. tip problemler için GA sonuçları

		Yerleşim	WIP_{konv}	SF_{sys}
1. tip model	Bozer and Hsieh	A:5, B:8, C:7, D:2, E:6, F:9, G:4, H:1, I:10, J:3	32.89	0.8771
	GA	A:4, B:10, C:2, D:3, E:5, F:6, G:7, H:8, I:9, J:1	16.592	0.627
2. tip model	Bozer and Hsieh	A:4, B:1, C:10, D:7, E:3, F:9, G:5, H:6, I:2, J:8	35.41	0.8125
	GA	A:8, B:4, C:2, D:3, E:5, F:9, G:6, H:7, I:1, J:10	18.512	0.529

4 DAİRESEL YERLEŞİM PROBLEMİNİN GENELLEŞTİRİLEREK MODELLENMESİ VE GENETİK ALGORİTMA İLE ÇÖZÜMÜ

Dairesel yerleşim ile ilgili kaynaklarda, bazı çalışmaların tek bir Y/B, diğerlerinin de n adet Y/B istasyonu içeren sistemler üzerinde yoğunlaşmış olduğu ve tasarımda sadece malzeme aktarma maliyetleri üzerinde durulduğu gözlenmiştir. Oysa yükleme ve boşaltma istasyonlarının sayısı arttırıldığında, -gereksiz taşımalarından kaçınılacağı için- taşıma maliyetlerinin düşmesi, buna karşılık, yeni istasyonlar kuruldukça da sabit maliyetlerin artacağı açıktır. Bu durumda sabit maliyetlerle, değişken maliyetler arasında sağlanacak bir ödünleşmeyle daha ekonomik çözümler bulunması beklenebilir. Taşıma maliyetleriyle yatırım maliyetleri arasındaki denge noktasını bulacak, bir başka deyişle toplam maliyeti en küçükleyecek bir modelin kurulması ve çözülmesi, bu bölümün konusunu oluşturmaktadır.

4.1 Malzeme Aktarma ve Yerleşim Düzenlemesi

Malzeme aktarma, üretim sistemlerinin işletilmesi ve tasarımında oldukça önemli bir rol oynar. Malzeme aktarma maliyetinin ve süresinin enküçüklenmesi, yerleşim problemlerinde en çok dikkate alınan amaçtır. Tompkins, et al. (1996) imalat işlemlerindeki toplam işletim maliyetlerinin %20-50'sini malzeme aktarma maliyetlerinin oluşturduğunu ve etkin bir yerleşim tasarımıyla bu maliyetlerin en az %10-30 oranında azalacağını belirtmiştir. Ayrıca aktarma sistemi, EÜS'de üretim ve stoklama işlemlerini birleştirir. Yerleşimle birlikte malzeme aktarma sistemi, tezgahlar arasındaki taşıma sürelerini belirler ve EÜS'nin esnekliğini (Browne, et al., 1984) ve çıktığı (Stecke, 1985) etkiler.

Herhangi bir yerleşimde malzeme aktarma maliyetlerinin belirlenebilmesi için kullanılan malzeme aktarma sisteminin (istasyonlar arası yollar, uzaklıklar, akış yönü) biliniyor olması gerekir (Ioannou and Minis, 1998). Çünkü yolların gerçek uzunlukları, dikdoğrusal uzaklık gibi genel tahmin metriklerinden anlamlı şekilde farklı olabilir.

Apple and McGinnis (1987), tesis yerleşimi malzeme aktarma sistemlerinin tasarım ve kontrolünü önemli ölçüde etkilediğinden, tesis yerleşimi ile malzeme aktarma sistemi tasarımı ve planlaması arasında sürekli bir arayüze ve yakın işbirliğine

olan ihtiyacın altını çizmiştir. Ancak, bugüne kadar yapılan çalışmaların çoğu birleştirilmiş problemin karmaşıklığı ve bütün tasarım kararlarını ele almanın güçlüğü nedeniyle bu konuyu derinlemesine ele almamıştır (Montreuil, 1990).

Tek yönlü dairesel yerleşim konusunda şimdiye kadar yapılan tüm çalışmalarda malzeme aktarma sisteminin bilindiği varsayılmış ve bu sistemin özelliklerini dikkate alarak taşıma maliyetlerini enküçükleyecek iş istasyonu yerleşimi araştırılmıştır. Bu çalışmalarda tek yönde, kapalı çevrimde hareket eden dairesel malzeme aktarma sistemine giriş, yükleme (Y) istasyonundan çıkış da boşaltma (B) istasyonundan yapılmaktadır. Malzeme aktarma sisteminin bir özelliği olan Y ve B istasyonu sayısının genellikle bir olduğu ve yükleme ve boşaltma işlemlerinin tek bir istasyondan gerçekleştirildiği varsayılmıştır. Bunların dışında yalnızca bir çalışma Y/B istasyonu ile ilgili farklı bir durumu düşünmüştür. Bu çalışma da, dairesel sistemdeki her iş istasyonun yanında birer Y/B istasyonu olduğu yani sistemde iş istasyonu sayısı (n) kadar Y/B istasyonu olması durumunu dikkate almıştır. Ancak halka konveyörler konusunda yapılan çalışmalar, bu iki uç durumun yanı sıra halka konveyörlerde bir Y ve bir B istasyonu, çok Y ve bir B istasyonu, bir Y ve çok B istasyonu, çok Y çok B istasyonu gibi durumlarında mümkün olduğunu göstermiştir. Malzeme aktarma sistemi ve yerleşim arasındaki ilişki göz önüne alındığında TYDYP ve Y/B istasyonu sayısının ve konumunun belirlenmesi probleminin birlikte ele alınmasının önemi dikkati çekmiştir.

4.2 Y/B İstasyonu Sayısının ve Konumunun Önemi

Yerleşim esnekliği, yerleşimin zaman içinde ürün karması, talep miktarı ve rotalarda oluşabilecek değişikliklere, yerleşimi değiştirmeden uyum sağlama yeteneği olarak tanımlanabilir (Hassan, 1994). Değişikliklere cevap vermek amacıyla yerleşimin yeniden düzenlenmesi, üretimde kesintiye ve tezgahların boş kalmasına neden olduğundan ve aktarma donanımını değiştirme ve tezgahlar için gerekli tesisatın tekrar döşenmesi maliyetini doğurduğundan, esnek bir tezgah yerleşimi elde etmek oldukça önemlidir. Ancak, gelecekteki ürün karmasının ve talep miktarının kestiriminin ve bunların ortaya çıkma olasılıklarının tahmininin güçlüğü nedeniyle esnek bir yerleşim

geliştirmek oldukça karmaşıktır. Buna karşın, değişikliklere cevap vermek için gerekli önlemler alınmazsa, tesisin verimliliği çok büyük bir ihtimalle azalacaktır.

EÜS'ni etkileyen ve yerleşimde önemli bir değişiklik yapmadan değişen koşullara uyum sağlamasını sağlayan bazı faktörler vardır. Bu faktörlere örnek olarak seçilen malzeme aktarma donanımı (konveyör yerine OYA), takım magazininin tipi (kalıcı yerine değiştirilebilir) ve Y/B istasyonu sayısı verilebilir (Hassan, 1994). EÜS'nin yerleşimde herhangi bir önemli değişikliği gerektirmeden değişen koşullara uyum sağlamasına Y/B istasyonlarının etkisi, Millen, et al. (1992) tarafından ele alınmıştır. Yazarlar, tek yönlü bir dairesel malzeme aktarma sisteminde çok Y/B istasyonu yerine tek Y/B istasyonu kullanmanın ürün karması değiştiğinde taşıma maliyetlerinde yapacağı etkiyi araştırmışlardır. Çok Y/B istasyonlu durumda taşıma maliyetleri, tek Y/B istasyonlu durumdakinden çok daha düşük olmaktadır. O halde, çok Y/B istasyonu kullanımı ürün karması değişmesine rağmen yerleşim statik kaldığında EÜS'nde verimliliğin azalmasını önlemeye yardımcı olur.

4.3 Tek Yönlü Dairesel Yerleşim Probleminin Genelleştirilmesi Gereği

Taşıma mesafelerini, dolayısıyla maliyetlerini doğru bir şekilde belirleyebilmek için istasyonlar arasındaki gerçek uzaklıkların bilinmesi gerekir. TYDYP'nde toplam taşıma maliyetinin iki bileşeni vardır:

- i) İş istasyonları arasındaki taşımaların maliyeti,
- ii) Yükleme istasyonundan/istasyonlarından iş istasyonlarına ve iş istasyonlarından boşaltma istasyonuna/istasyonlarına yapılan taşımaların maliyeti.

Birinci maliyet bileşeni, iş istasyonlarının yerleşimine bağlıdır. İkinci bileşen ise, hem iş istasyonlarının yerleşimine hem de yükleme ve boşaltma istasyonlarının konumuna bağlıdır. TYDYP konusunda şimdiye kadar yapılan çalışmalarda Y/B istasyonunun konumu bilindiği varsayıp sadece iş istasyonlarının yerleşimi konusu ele alınmıştır. Ancak bu durumda daha düşük toplam taşıma maliyeti ile sonuçlanabilecek bazı yerleşimler gözden kaçmaktadır. O halde, tek yönde hareket eden dairesel bir malzeme aktarma sisteminde bulunması gereken Y/B istasyonu sayısı ve bunların

konumlarının belirlenmesi problemi ile bu sistemin etrafına iş istasyonlarının yerleştirilmesi problemi, birbirine bağlıdır ve birlikte ele alınmalıdır.

Bir dairesel malzeme aktarma sisteminde çok Y/B istasyonu bulunmasının sağladığı avantajlara karşın bu istasyonları ekleme maliyeti vardır. Millen, et al. (1992) bu maliyetleri gözardı etmiştir. Oysa ki sisteme Y/B istasyonu ekleme maliyeti ile bu değişikliğin toplam taşıma maliyetlerinde meydana getireceği azalma ile elde edilecek kazanç arasında bir ödünleşme vardır. Bu ödünleşmeyi dikkate almak ekonomik ve etkin bir yerleşimle sonuçlanır. Elbette azalan kazançlar kanunu burada da geçerlidir. İlk istasyonun eklenmesi büyük bir yarar sağlarken, bundan sonra eklenecek her istasyon giderek daha az katkı sağlayacaktır. Bu noktada, en iyi istasyon sayısının belirlenmesi de önem kazanmaktadır. Diğer yandan, iş istasyonlarının konumları taşıma maliyetlerinin belirlenmesinde birinci dereceden bir rol oynadığından, Y/B istasyonu sayısı kadar bunların nereye konacağına da belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmanın son adımında, dairesel yerleşim problemi, iş istasyonlarının sıralanması yanında Y/B istasyonları sayısının ve bunların konumlarının da belirlenmesini kapsayacak şekilde geliştirilmiş ve daha önce problemin özel şekillerini çözmek için geliştirilmiş ve sınanmış olan yöntemin tadil edilmiş bir şekliyle de çözülmüştür. İzleyen bölümlerde, problemin bu geliştirilmiş şekliyle nasıl modellendiği ve bu modelin çözümü için algoritmanın ne şekilde geliştirildiği açıklanmaktadır.

4.4 Genelleştirilmiş TYDYP'nin (gTYDYP) Modellenmesi

Genelleştirilmiş yerleştirme-tahsis (generalized location-allocation) problemi, yeni tesisleri yerleştirirken bir yandan hangi yeni tesisin hangi eski tesise hizmet vereceğini de belirlemekte, ayrıca sabit ve değişken maliyetler arasındaki ödünleşmeyi dikkate alarak, en iyi “yeni tesis sayısını” da bulmaktadır. Bu modelin temelinde yatan düşüncenin dairesel yerleşim problemine uyarlanmasıyla, bu problemin daha genel bir yapıda modellenmesi sağlanabilecek ve daha verimli çözümler elde edilebilecektir.

4.4.1 Varsayımlar

gTYDYP modellenirken aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır.

- i) İstasyonlar arasındaki dönemlik akış miktarları, sabit ve biliniyor.

- ii) Akış, saat yönündedir.
- iii) Herhangi bir konuma yükleme istasyonu atama maliyeti bu konuma boşaltma istasyonu atama maliyeti ile aynıdır ve bu maliyetler tüm konumlar için sabittir.
- iv) Yükleme ve boşaltma istasyonları için kapasite kısıtı yoktur.

4.4.2 gTYDYP'nin matematiksel modeli

Genelleştirilmiş problemde sadece iş istasyonlarının yerleşimi değil aynı zamanda kaç tane Y/B istasyonunun gerektiği ve bunların nerelere yerleştirileceği de araştırılmaktadır. Ayrıca gTYDYP'nde dairesel malzeme aktarma sistemi üzerindeki herhangi bir konuma yalnızca bir iş istasyonu atanabileceği gibi yükleme düzeneğine sahip, boşaltma düzeneğine sahip ya da hem yükleme hem de boşaltma düzeneğine sahip olan iş istasyonları da atanabilir.

Karar değişkenleri

x_{ia} : i konumuna iş istasyonu a atanırsa 1, diğer durumda 0.

y_i : i konumuna yükleme istasyonu atanırsa 1, diğer durumda 0.

z_i : i konumuna boşaltma istasyonu atanırsa 1, diğer durumda 0.

w_{ki} : k parçası i konumundaki yükleme istasyonundan sisteme girerse 1, diğer durumda 0.

h_{ki} : k parçası i konumundaki boşaltma istasyonunu kullanarak sistemden çıkarsa 1, diğer durumda 0.

Parametreler

d_{ij} : i konumu ile j konumu arasındaki uzaklık

f_{ab} : iş istasyonu a ile iş istasyonu b arasındaki dönemlik akış miktarı

l_k : k parçasının ilk işlem göreceği iş istasyonu

s_k : k parçasının son işlem gördüğü iş istasyonu

t_k : k parçasının dönemlik talep miktarı

p : Yükleme istasyonu kuruluş maliyeti

q : Boşaltma istasyonu kuruluş maliyeti

Model

$$\sum_{i=1}^n x_{ia} = 1 \quad a = 1, 2, \dots, n \quad (37)$$

$$\sum_{a=1}^n x_{ia} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (38)$$

$$\sum_{i=1}^n y_i \geq 1 \quad (39)$$

$$\sum_{i=1}^n z_i \geq 1 \quad (40)$$

$$\sum_{i=1}^n y_i w_{ki} = 1 \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (41)$$

$$\sum_{i=1}^n z_i h_{ki} = 1 \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (42)$$

$$x_{ia} \in \{0, 1\} \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad a = 1, 2, \dots, n \quad (43)$$

$$y_i, z_i \in \{0, 1\} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (44)$$

$$w_{ki}, h_{ki} \in \{0, 1\} \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (45)$$

kısıtları altında

$$\begin{aligned} \text{enk} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{a=1}^n \sum_{b=1}^n x_{ia} x_{jb} d_{ij} f_{ab} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{b=l_k}^K \sum_{k=1}^K w_{ki} x_{jb} d_{ij} t_k + \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{b=s_k}^K \sum_{k=1}^K h_{ki} x_{jb} d_{ji} t_k + \sum_{i=1}^n y_i p + \sum_{i=1}^n z_i q \end{aligned} \quad (46)$$

(37) ve (38) kısıtları, iş istasyonu atama kısıtlarıdır ve sırasıyla iş istasyonlarının yalnızca bir konuma atanmasını ve her konuma yalnızca bir iş istasyonu atanmasını sağlamaktadır. (39) ve (40) kısıtları ise yükleme ve boşaltma istasyonu atama kısıtlarıdır ve sistemde en az bir yükleme ve en az bir boşaltma istasyonu olmasını sağlar. (41) ve (42) kısıtları, her bir parçanın sisteme yalnızca bir yükleme

istasyonundan girmesi ve yalnızca bir boşaltma istasyonundan çıkması ile ilgili kısıtlardır. (43), (44) ve (45) kısıtları, karar değişkenlerine ait kısıtlardır. Amaç fonksiyonu (46), taşıma maliyeti ile yükleme ve boşaltma istasyonu kurma maliyeti arasında denge sağlamayı amaçlamaktadır. Amaç fonksiyonunda birinci bileşen iş istasyonları arasındaki, ikinci bileşen yükleme istasyonu ile iş istasyonları arasındaki, üçüncü bileşen de boşaltma istasyonu ile iş istasyonları arasındaki taşımaların maliyeti olmak üzere ilk üç bileşen toplam taşıma maliyetini göstermektedir. Son iki bileşen ise sırasıyla yükleme ve boşaltma istasyonu kurma maliyetini ifade etmektedir.

4.5 gTYDYP İçin Geliştirilen Genetik Algoritma

gTYDYP, TYDYP'nden farklı olarak iki karar problemini daha ele aldığı ve ek kısıtlara sahip olduğu için geliştirilen melez GA, mevcut haliyle gTYDYP'nin çözümü için kullanılamaz. Bu nedenle algoritma, gTYDYP'ni çözebilecek şekilde düzenlenmiştir.

4.5.1 Yerleşim planının kromozomlarda gösterimi

Kromozom iki bölümlü olarak tasarlanmıştır. Her iki bölümün de uzunluğu sabit ve iş istasyonu sayısına eşittir. Birinci bölüm, Y/B istasyonu sayısı ve konumu ile ilgili bilgiyi içermektedir. Bu bölümde genler 0, 1, 2 veya 3 değerini alabilir. Eğer bir gen 0 değerini alıyorsa, bu genin ait olduğu konuma karşı gelen iş istasyonunun yanında yükleme ve boşaltma düzeneği yoktur. Benzer şekilde, 1 değeri ilgili istasyonunun yanında sadece yükleme düzeneği olması durumunu, 2 değeri sadece boşaltma düzeneği olması durumunu ve 3 değeri de hem yükleme hem de boşaltma düzeneği olması durumunu göstermektedir. Örneğin Şekil 4.1'de verilen kromozoma ait yerleşimde 1 numaralı iş istasyonunun yanında yükleme düzeneği, 6 numaralı iş istasyonunun yanında boşaltma düzeneği vardır. O halde bu yerleşim planı, dördü yükleme, ikisi boşaltma, ve üçü de hem yükleme hem boşaltma yetenekli olmak üzere toplamda yedisi yükleme ve beşi boşaltma yapabilen 10 iş istasyonlu bir tek yönlü dairesel malzeme aktarma sistemine karşı gelmektedir.

Kromozomun ikinci bölümünde bu sistem için iş istasyonlarının sırası görülmektedir. Bu bölümde bütün iş istasyonları birer kez yer almalıdır. İkinci

bölümün ilk geni, dairesel malzeme aktarma sisteminin ilk konumunda yer alan iş istasyonunu göstermektedir. Şekil 4.1'deki örnek kromozom için iş istasyonları, dairesel malzeme aktarma sisteminin etrafına 4-6-2-9-3-7-1-10-5-8 sırasıyla yerleştirilmelidir.

I. Bölüm										II. Bölüm									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	3	1	3	1	2	3	2	1	0	4	6	2	9	3	7	1	10	5	8

Şekil 4.1 10 istasyonlu tek yönlü dairesel malzeme aktarma sistemi için örnek kromozom

4.5.2 Başlangıç popülasyonunun türetilmesi

Kromozomun iki bölümlü olması ve her iki bölümün de kendi içinde farklı kısıtları olması nedeniyle kromozomların türetilmesi de iki bölümde gerçekleştirilmiştir. Böylece olurlu olmayan bireylerin oluşması önlenmektedir. Başlangıç popülasyonu aşağıdaki şekilde türetilmiştir.

Başlangıç popülasyonunun türetilmesi yordamı:

başla

$t \leftarrow 1$;

($t \leq$ popülasyon büyüklüğü) olduğu sürece tekrar et

başla

kromozomun birinci kısmını rassal olarak türet;

kromozomun birinci kısmının uygunluğunu kontrol et;

eğer uygun değil **ise** düzelt;

kromozomun ikinci kısmını rassal olarak türet;

$t \leftarrow t + 1$;

dur

dur

Kromozomun birinci kısmındaki genlerin değerleri 0, 1, 2 veya 3 değerlerinden rassal olarak seçilen herhangi birisine eşit olacaktır. Kromozomun birinci kısmı aşağıdaki şekilde türetilmiştir.

Y/B istasyonu bilgisinin türetilmesi yordamı:**başla** $i \leftarrow 1;$ $YB \leftarrow \emptyset;$ **($i \leq n$) olduğu sürece tekrar et****başla**Y/B istasyonu bilgisi YB_i 'i $[0,3]$ aralığındaki tamsayılardan rassal olarak belirle; $YB \leftarrow YB \cup YB_i;$ **dur****dur**

Her malzeme aktarma sisteminde en az bir yükleme ve boşaltma istasyonu olması gerektiğinden rassal olarak türetilen Y/B istasyonu bilgisini içeren kromozomun ilk kısmının uygunluğunun kontrol edilmesi gerekir. Bu kontrol aşağıdaki şekilde yapılmıştır.

Uygunluğun kontrolü yordamı:**başla** $k \leftarrow 0;$ $i \leftarrow 1;$ **($i \leq 3$) olduğu sürece tekrar et****başla****eğer $i \in YB$ ise $k \leftarrow k + i$;** $i \leftarrow i + 1;$ **dur****eğer $k < 3$ ise düzelt;**

Türetilen Y/B istasyonu bilgisi YB'yi kromozomun birinci kısmına ata;

dur

Kontrol için k ile gösterilen bir değişkenden yararlanılmıştır. k değişkeni kromozomun ilk kısmında yer alan genlerin değerine bağlı olarak değişmektedir. Eğer türetilen çözümde en az bir tane yükleme istasyonu varsa (genin değeri 1 ise) k 'nin değeri 1 birim, en az bir tane boşaltma istasyonu varsa (genin değeri 2 ise) 2 birim ve en az bir tane Y/B istasyonu varsa (genin değeri 3 ise) 3 birim artacaktır (k 'nin değeri başlangıçta sıfırdır). O halde k , Çizelge 4.1'de verilen değerlerden birisini alacaktır. Dikkat edilecek olursa olurlu olmayan çözümler k 'nin 0, 1 ve 2 değerini aldığı durumlarda görülmektedir. Bu durumlarda ya yükleme istasyonu, ya boşaltma istasyonu ya da hem yükleme hem de boşaltma istasyonu yoktur. Böyle çözümler

olurlu olmadığı için çözümün kısıtı (en az bir yükleme ve boşaltma istasyonu olması) sağlayacak şekilde düzeltilmesi gerekir.

Çizelge 4.1 k 'nın alabileceği değerler

Y/B istasyonu yok	Y istasyonu var	B istasyonu var	Y/B istasyonu var	k
√				0
	√			1
		√		2
			√	3
	√	√		3
	√		√	4
		√	√	5
	√	√	√	6

Düzeltilme işlemi aşağıdaki şekilde yapılmaktadır. Düzeltilme işleminde rassal olarak seçilen bir genin değeri, k 'nın değerine göre değişen yeni bir değerle değiştirilmektedir. Hatırlanacağı üzere düzeltmeye, üç durumda ihtiyaç duyuluyordu. Birincisi, k 'nın değerinin sıfır olduğu durumdur. Bu durum, türetilen yerleşim seçeneğinde hem yükleme hem de boşaltma istasyonunun olmaması halinde ortaya çıkmaktadır. Bunu düzeltmek için rassal olarak seçilen bir genin değeri $3 - k = 3 - 0 = 3$ ile değiştirilir. Böylece sisteme Y/B istasyonu eklenmiş olur ve kısıt sağlanır. İkincisi, k 'nın değerinin bir olduğu durumdur. Bu durumda türetilen yerleşim seçeneğinde yükleme istasyonu vardır ancak boşaltma istasyonu yoktur. O halde rassal olarak seçilen bir genin değeri $3 - k = 3 - 1 = 2$ ile değiştirilirse sisteme boşaltma istasyonu eklenmiş olur. Düzeltilmenin ihtiyaç duyulduğu son durum, k 'nın değerinin iki olduğu durumdur. Bu durumda sistemde boşaltma istasyonu vardır ancak yükleme istasyonu yoktur. Bunu düzeltmek için rassal olarak seçilen bir genin değeri $3 - k = 3 - 2 = 1$ ile değiştirilir ve kısıt sağlanmış olur.

Düzeltilme yordamı:

başla

$i \leftarrow 0$;

($i < 3$) olduğu sürece tekrar et

başla

eğer $k = i$ ise rassal olarak belirlediğin bir genin değerini $3 - k$ ile değiştir;

$i \leftarrow i + 1;$
dur
dur

Kromozomun ikinci kısmı olan iş istasyonlarının yerleşim sıraları, aşağıda gösterildiği şekilde rassal olarak belirlenmektedir. Bu sıralama rassal olarak belirlenmesine rağmen algoritma, her iş istasyonunun bir kez yer alması kısıtını bozmayacak şekilde çalışmaktadır. Bu nedenle bu kısım için kısıtın sağlanıp sağlanmadığını kontrol etmeye gerek kalmamıştır. Burada π_0 sıralanacak iş istasyonlarının kümesini, P ise bu istasyonların yerleşim sırasını göstermektedir.

İş istasyonlarının sıralanması yordamı:

başla

$i \leftarrow 1;$
 $\pi_0 \leftarrow \{1,2,3,\dots,n\};$

$P \leftarrow \emptyset;$

($i \leq n$) olduğu sürece tekrar et

başla

π_0 'dan rassal olarak bir iş istasyonu n' seç;

$P \leftarrow P \cup n';$

$\pi_0 \leftarrow \pi_0 \setminus n';$

$i \leftarrow i + 1;$

dur

Türetilen P sıralamasını kromozomun ikinci kısmına ata;

dur

4.5.3 Uyum fonksiyonu

Genetik algoritmalarındaki uyum fonksiyonu, matematiksel programlamadaki amaç fonksiyonuna karşı gelmekte ve çözümün başarısını göstermektedir. Bölüm 4.4.2'de anlatılan modelin amaç fonksiyonu, genetik algoritmanın uyum fonksiyonu olarak kullanılmıştır.

Daha önce ele alınmış olan UnBal10_1 probleminin çözümünde Şekil 4.2'de gösterilen kromozom türetilmiş olsun. Bu kromozomun uyum değerinin, toplam taşıma yükü ve toplam Y/B istasyonu maliyeti olmak üzere iki bileşeni vardır. Bu maliyet bileşenleri, izleyen alt bölümlerde açıklandığı şekilde hesaplanmaktadır.

0	0	3	0	1	2	1	0	1	1	1	6	2	9	3	5	10	7	8	4
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	---	---	---

Şekil 4.2 UnBal10_1 problemi için rassal olarak türetilen bir kromozom

4.5.3.1 Toplam taşıma maliyetinin hesaplanması

Toplam taşıma yükü, bütün istasyonlar arasındaki akış miktarı ile bunların taşınma mesafesinin çarpımına eşit olduğundan bu maliyet bileşenini hesaplayabilmek için akış ve uzaklık matrisi gerekmektedir. İncelenen sistem eşit uzaklıklı olduğu için Şekil 4.2'deki yerleşim uygulandığında istasyonlar arasındaki uzaklık matrisi

Çizelge 4.2'deki gibi olacaktır (istasyonlar arasındaki uzaklığın bir birim olduğu varsayılmıştır). Altınel and Öncan (2005), tek Y/B istasyonlu TYDYP ile ilgilendikleri için akış matrisini türetirken bu 10 istasyondan bir tanesinin Y/B istasyonu olduğunu varsaymışlar ve buna göre akış matrisini (Çizelge 4.3) belirlemişlerdir. Bu akış matrisi, parçaların rotasındaki tüm iş istasyonları arasındaki ve Y/B istasyonundan ilk işlem göreceği iş istasyonuna ve son işlem gördüğü iş istasyonundan Y/B istasyonuna olan akışların toplamını göstermektedir. Ancak Y/B istasyonu olarak bir başka istasyonun seçilmesi, sistemde bir yükleme ve bir boşaltma istasyonu olması ya da birden fazla Y/B istasyonu olması gibi durumlarda Çizelge 4.3'deki akış matrisi değişecektir (Yükleme istasyonundan ilk iş istasyonuna ve son iş istasyonundan boşaltma istasyonuna yapılan akışlar değişeceği için). Parçanın girip çıkacağı yükleme ve boşaltma istasyonuna göre akış matrisinin düzenlenmesi için parça talebi ve ilk ve son işlem gördüğü iş istasyonu bilgisine ihtiyaç vardır. Bu veriler mevcut olmadığı için rassal olarak türetilmiştir.

Bu çalışmada da talep, orijinal problemde olduğu gibi üç değişkenlik düzeyi düşünülerek türetilmiştir. Parçaların rotasındaki ilk ve son iş istasyonu bilgisi de rassal olarak belirlenmiştir. Problemin verileri, Çizelge 4.4'de görülmektedir.

Çizelge 4.2 İncelenen kromozom için iş istasyonları arasındaki uzaklık matrisi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	2	4	9	5	1	7	8	3	6
2	8	0	2	7	3	9	5	6	1	4
3	6	8	0	5	1	7	3	4	9	2
4	1	3	5	0	6	2	8	9	4	7
5	5	7	9	4	0	6	2	3	8	1
6	9	1	3	8	4	0	6	7	2	5
7	3	5	7	2	8	4	0	1	6	9
8	2	4	6	1	7	3	9	0	5	8
9	7	9	1	6	2	8	4	5	0	3
10	4	6	8	3	9	5	1	2	7	0

Çizelge 4.3 UnBal 10_1 problemi için iş istasyonları arasındaki akış matrisi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	29	22	22	38	36	30	49	21	41
2	0	0	23	11	25	11	2	10	0	28
3	0	4	0	12	6	24	25	8	4	9
4	0	7	6	0	13	16	36	4	26	10
5	0	9	5	17	0	17	14	28	31	7
6	0	35	8	6	10	0	12	25	8	14
7	0	20	33	23	15	5	0	13	22	17
8	0	15	3	23	2	15	8	0	34	14
9	0	28	9	13	8	7	20	17	0	3
10	0	3	29	18	1	4	23	25	22	0

gTYDYP’nde her bir parça için en düşük taşıma maliyetini doğuracak yükleme ve boşaltma istasyonu, dairesel sistemin özelliği nedeniyle tanımlanabilir durumdadır. Örneğin herhangi bir parçanın ilk işleminin olduğu istasyonda yükleme düzeneği varsa ve parça o yükleme istasyonundan sisteme girerse parçanın yükleme istasyonundan ilk işlem göreceği istasyona taşınması gerekmeyeceğinden, toplam taşıma maliyetinin bileşeni olan yükleme istasyonu ile iş istasyonu arasındaki taşıma maliyeti, sıfır olacaktır. O halde bir parça için en düşük taşıma maliyetli yükleme istasyonu, ilk işleminin olduğu istasyondur. Ancak parçanın ilk işleminin olduğu istasyonda yükleme düzeneği yoksa o parça için en düşük maliyetli atama, o istasyonun gerisindeki ilk yükleme düzeneği olan istasyon ile gerçekleşir (Akış yönünün saat yönünde olduğunu

hatırlayalım). Benzer şekilde boşaltma istasyonu için de parçanın son işlem gördüğü istasyon, en düşük taşıma maliyetli boşaltma istasyonudur. Eger o istasyonda boşaltma düzeneği yoksa en düşük taşıma maliyetli atama, akış yönünde o istasyondan sonraki ilk boşaltma düzeneğine sahip istasyon ile gerçekleşir. Kromozomların uyum değerleri, bu bilgi göz önüne alınarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.4 Parçalar için talep, ilk işleminin ve son işleminin olduğu iş istasyonu bilgileri

Parça	Talep	İlk işlem	Son işlem	Parça	Talep	İlk işlem	Son işlem
1	1	6	8	26	4	2	9
2	1	3	1	27	5	10	4
3	9	7	1	28	3	8	4
4	3	6	1	29	8	6	7
5	3	10	2	30	4	9	7
6	7	7	8	31	5	7	10
7	4	10	9	32	2	3	4
8	2	3	4	33	9	1	5
9	4	7	7	34	4	7	3
10	5	3	5	35	8	3	8
11	2	1	8	36	10	9	8
12	5	8	5	37	5	2	6
13	2	5	4	38	9	3	8
14	9	9	9	39	8	6	5
15	2	6	9	40	1	10	6
16	4	6	2	41	2	2	6
17	9	10	1	42	2	2	9
18	4	7	1	43	6	3	7
19	8	4	1	44	1	2	2
20	4	1	2	45	6	6	5
21	7	8	7	46	1	5	5
22	9	10	3	47	8	3	2
23	7	8	6	48	7	2	1
24	4	8	3	49	8	7	6
25	2	2	4	50	7	8	7

Şekil 4.2'deki kromozom dört yükleme, bir boşaltma ve bir Y/B olmak üzere beş yükleme ve iki boşaltma istasyonlu bir durumu göstermektedir. Bu durumda yükleme düzenekleri {3, 5, 7, 9, 10} ve boşaltma düzenekleri de {3, 6} numaralı iş istasyonlarının yanındadır. Parça 1 dikkate alındığında ilk işleminin iş istasyonu 6'da olduğu görülecektir. İş istasyonu 6'nın yanında yükleme düzeneği olmadığı için bu istasyonun gerisindeki iş istasyonu 1 kontrol edilir. İş istasyonu 1'in yanında da yükleme düzeneği olmadığı için sırasıyla gerideki iş istasyonu 4, 8 ve 7 kontrol edilir. İş istasyonu 7'nin yanında yükleme düzeneği olduğu için parça 1, sisteme buradan girecektir. O halde iş istasyonu 7'den iş istasyonu 6'ya parça 1'in talebi kadar akış gerçekleşecektir. Böylece Çizelge 4.3'deki akış matrisinin [7,6]. elemanının değeri 1 birim artacaktır. Parça 1'in son işlemi iş istasyonu 8'dedir. Bu parçanın sistemden çıkacağı boşaltma istasyonunu belirlemek için sırasıyla iş istasyonu 8, 4, 1 ve 6 kontrol edilir. İş istasyonu 6'nın yanında boşaltma düzeneği olduğundan parçanın son işlem gördüğü iş istasyonu 8'den boşaltma istasyonu 6'ya 1 birimlik akış söz konusudur. Yani Çizelge 4.3'deki akış matrisinin [8,6]. elemanının değeri yine 1 birim artacaktır. Tüm parçalar için yükleme istasyonundan ilk işlem göreceği iş istasyonuna ve son işleminin olduğu iş istasyonundan boşaltma istasyonuna olan akışlar dikkate alınarak oluşturulan düzeltilmiş akış matrisi Çizelge 4.5'de verilmiştir. Düzeltilmiş akış matrisi ve uzaklık matrisinin elemanlarının karşılıklı çarpımlarının toplamı ile elde edilen toplam taşıma yükü, 7600 uzaklık birimi/dönem olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.5 UnBal 10_1 problemi için düzeltilmiş akış matrisi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	29	22	22	38	77	30	49	21	41
2	0	0	43	11	25	11	2	10	0	28
3	0	4	58	12	6	24	25	8	4	9
4	0	7	6	0	13	32	36	4	26	10
5	0	9	5	17	3	51	14	28	31	7
6	0	35	8	6	10	23	12	25	8	14
7	15	43	33	31	15	73	41	46	22	17
8	0	15	3	23	2	52	8	0	34	14
9	0	28	30	13	8	7	20	17	23	3
10	0	3	29	18	1	9	23	25	22	31

4.5.3.2 Toplam Y/B istasyonu maliyeti

Genelleştirilmiş modelde sabit ve değişken maliyetlerin bir arada yer alması, bunları bir ortak baza indirgeme problemini ortaya çıkarmıştır. Bu dönüşümde Y/B istasyonu maliyetlerinin toplam taşıma maliyeti ile orantılı olduğu varsayılabilir. Ancak bu kez de taşıma maliyetleri için sabit bir değer belirlemek gerekecektir. Bu sabit değerın hesaplanmasında da Tompkins et al.'da (1996) sözü edilen alt sınırdan yararlanılmıştır. Bu alt sınır, aralarında fazla sayıda taşıma olan tezgahların birbirine olabildiğince yakın yerleştirilmesi düşüncesine dayanmaktadır. Alt sınırı hesaplayabilmek için öncelikle simetrik olmayan uzaklık ve akış matrisleri simetrik hale getirilmiştir. Daha sonra konumlar arasındaki uzaklıklar küçükten büyüğe, istasyonlar arasındaki taşıma sayıları da büyükten küçüğe sıralanmış ve bu dizilerin elemanları sırasıyla birbiriyle çarpılarak toplanmıştır. Düzeltilmiş akış matrisi, her çözüm seçeneği (kromozom) için farklı olacağından alt sınır hesaplanırken, literatürden alınan başlangıç akış matrisi kullanılmıştır. Y/B istasyonu maliyetleri, bu istasyonlarda yapılan Y/B işlemlerinin özelliğine göre üç durumda ele alınmıştır (Çizelge 4.6). Elle işlem yapılan (ucuz) Y/B istasyonunun maliyeti toplam taşıma maliyetinin %0.1'ine, orta düzeyde karmaşık Y/B istasyonunun maliyeti toplam taşıma maliyetinin %1'ine ve yüksek teknolojiyi kullanan (robot vs.) Y/B istasyonunun maliyeti ise toplam taşıma maliyetinin %5'ine eşit olarak alınmıştır. Yükleme ve boşaltma istasyonu maliyetlerinin birbirine eşit ve bir Y/B istasyonunun maliyetinin bir yükleme ve bir boşaltma istasyonu maliyetinin toplamına eşit olduğu varsayılmıştır.

UnBal10_1 problemi için toplam taşıma maliyetine alt sınır fd_{alt} , 3365 olarak bulunmuştur. Bu durumda yüksek teknolojiyi kullanan Y/B istasyonlarına sahip bir esnek üretim sistemi için yükleme istasyonu maliyeti 84, boşaltma istasyonu maliyeti 84 ve Y/B istasyonu maliyeti 168 para birimi olur. Şekil 4.2'deki yerleşim seçeneğinde dört yükleme, bir boşaltma ve bir Y/B istasyonu bulunduğundan bu kromozom için toplam Y/B istasyonu maliyeti, 588 para birimi olur. Bu kromozomun iki maliyet bileşeninin toplamıyla bulunan uyum değeri de 8188'e eşittir.

Çizelge 4.6 Y/B istasyonu maliyetleri

	Y ist. mal.	B ist. mal.	Y/B ist. mal.
Elle işlem yapılan	$\frac{fd_{alt} * 0.001}{2}$	$\frac{fd_{alt} * 0.001}{2}$	$fd_{alt} * 0.001$
Orta düzeyde karmaşık	$\frac{fd_{alt} * 0.01}{2}$	$\frac{fd_{alt} * 0.01}{2}$	$fd_{alt} * 0.01$
Yüksek teknolojiyi kullanan	$\frac{fd_{alt} * 0.05}{2}$	$\frac{fd_{alt} * 0.05}{2}$	$fd_{alt} * 0.05$

4.5.4 gTYDYP'nin çözümünde genetik işlemler

Genelleştirilmiş problemin çözümünde uygulanan genetik işlemler yine çaprazlama ve mutasyon olmuştur. Çaprazlama operatörü olarak sıralı çaprazlama (OX) operatörü kullanılmış ve çaprazlama ile sadece kromozomun ikinci bölümündeki genlerin değişimine izin verilmiş, böylece olursuz çözümlerden kaçınılmıştır.

Çaprazlama işlemi için düşünülen mantık, mutasyon için de uygulanmıştır. Olurluluğun sürdürülmesi amacıyla mutasyon iki ayrı bölüm için farklı mutasyon operatörleri kullanılarak yapılmıştır. Mutasyon için öncelikle mutasyona uğrayacak gen rassal olarak belirlenmektedir. Daha sonra bu gen eğer kromozomun birinci kısmında yer alıyorsa, bu genin değeri [0,3] aralığında rassal olarak belirlenen bir tamsayı ile değiştirilmektedir (0, 1, 2 ve 3 sayıları, o istasyona eklenen yükleme/boşaltma düzeneğinin tipini belirtmektedir). Eğer mutasyona uğrayacak gen kromozomun ikinci bölümünde ise bu gen, TAŞI mutasyon operatörü ile belirlenen bir konuma taşınmaktadır. Uygulanan mutasyon işleminin algoritması aşağıda verilmektedir.

Mutasyon yordamı:

başla

$t \leftarrow 1;$

$j \leftarrow 1;$

($t \leq$ popülasyon_büyüküğü) olduğu sürece tekrar et

başla

($j \leq$ kromozom uzunluğu) olduğu sürece tekrar et

başla

```

rassal_sayı ← random;
eğer (rassal_sayı < mutasyon_oranı) ise
  başla
  eğer (j birinci bölümde) ise
    başla
     $krm[t, j] = random(4)$ ;
    kromozomun uygunluğunu kontrol et;
    eğer uygun değil ise düzelt;
  dur
  değilse TAŞI;
dur
   $j \leftarrow j + 1$ ;
dur
   $t \leftarrow t + 1$ ;
dur
dur

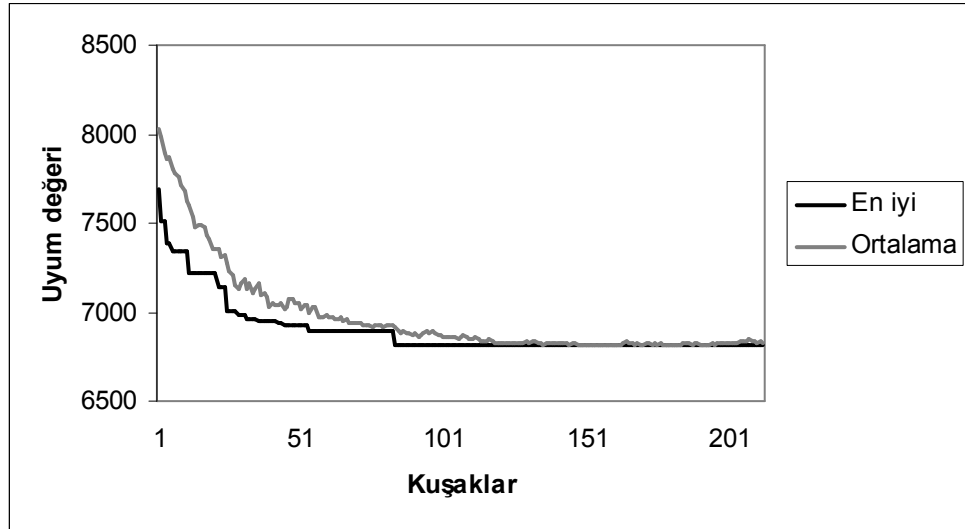
```

4.6 Örnek Problem

Geliştirilen melez GA, Delphi 6.0 programlama dili ile kodlanmış ve örnek olarak UnBal10_1 problemine uygulanmıştır. Ele alınan problemin çözümünde, kuşaklar ilerledikçe daha iyi sonuçlara nasıl yaklaşıldığı, Şekil 4.3'deki grafikten izlenebilir. Grafikte, yatay eksen *kuşakları*, düşey eksen de ilgili kuşaktaki *en iyi ve ortalama uyum değerlerini* göstermektedir. Kuşaktaki en iyi ve ortalama uyum değerinin, kuşaklar boyunca, kararlı bir şekilde iyileştiği dikkati çekmektedir. Grafikte dikkati çeken en önemli nokta ise, yüz on üçüncü kuşaktan itibaren, en iyi çözümde hiçbir iyileşme görülmemiştir. Bir çözüm yolunun algoritma niteliği kazanabilmesi için mutlaka *sonlu sayıda adım* ile sonuca ulaşması beklenmektedir. Bu grafikte de, en iyi değer eğrisinin, yatay eksene paralel bir konum alması ve bu konumu makul bir süre devam ettirmesi, artık daha fazla iyileşme beklenmeyeceği kanısını uyandırıp, algoritmanın durdurulacağı noktayı belirlemektedir.

İncelenen problem, önerilen genetik algoritma ile yükleme ve boşaltma istasyonu maliyetlerinin ucuz, orta ve pahalı olduğu durumlar için çözülmüş ve sonuçlar Çizelge 4.7'de verilmiştir. Ucuz maliyet durumunda n Y/B istasyonlu durum için elde edilen çözüme eşdeğer bir çözüm elde edilirken, orta ve pahalı maliyet durumlarında en düşük toplam taşıma maliyeti, yükleme ve boşaltma istasyonu sayısının ve konumunun serbest bırakıldığı ve yerleşimin bu karar problemiyle birlikte ele alındığı durumda elde

edilmiştir. Bu maliyetlere, ucuz Y/B istasyonu maliyeti durumunda 10 Y/B istasyonu ile, orta Y/B istasyonu maliyeti durumunda 7 Y/B, 1 yükleme ve 1 boşaltma olmak üzere 8 yükleme ve 8 boşaltma istasyonu ile, pahalı Y/B istasyonu maliyeti durumunda 1 Y/B, 3 yükleme ve 2 boşaltma olmak üzere 4 yükleme ve 3 boşaltma istasyonu ile ulaşılmıştır. Dikkat edilecek olursa tek Y/B istasyonu durumunda en düşük Y/B istasyonu maliyetine karşın en yüksek taşıma maliyeti görülürken n Y/B istasyonu durumunda da en düşük taşıma maliyetine karşın en yüksek Y/B istasyonu maliyeti görülmektedir. Ancak gTYDYP'nin çözümü ile her iki maliyet bileşeni için de ara değerler elde edilmektedir.



Şekil 4.3 UnBal10_1 problemi (Y/B istasyonu maliyetinin pahalı olduğu durum) için uyum değerinin kuşaklar boyunca değişimi

Melez GA'nın gTYDYP'ndeki performansını test etmek amacıyla, problem için geliştirilen matematiksel model GAMS programı ile kodlanmış (Ek.5) ve Y/B istasyonu maliyetinin pahalı olduğu durumda UnBal10_1 problemine uygulanmıştır. Problem GAMS/BARON, GAMS/DICOPT ve GAMS/SBB karma tamsayı doğrusal olmayan programlama çözümleri (solver) kullanılarak çözülmüş ve Çizelge 4.8'deki sonuçlar elde edilmiştir. Çizelgeden görüleceği gibi, GA ile diğer yöntemlerle elde edilen sonuçlardan daha iyi sonuçlara daha kısa sürede ulaşılmaktadır. BARON çözümleri

oldukça uzun bir süre çalışmasına rağmen durmadığı için 15007 sn sonra kullanıcı tarafından durdurulmuştur.

Çizelge 4.7 UnBal10_1 problemi için melez GA kullanılarak elde edilen sonuçlar

		Toplam taşıma maliyeti	Toplam Y/B istasyonu maliyeti	Toplam maliyet
Ucuz	Tek Y/B ist.	7903	2	7905
	10 Y/B ist.	5818	20	5838
	10 Y, 10 B	5818	20	5838
Orta	Tek Y/B ist.	7903	32	7935
	10 Y/B ist.	5818	320	6138
	8 Y, 8 B	5834	272	6106
Pahalı	Tek Y/B ist.	7903	168	8071
	10 Y/B ist.	5818	1680	7498
	4 Y, 3 B	6196	588	6784

Çizelge 4.8 Pahalı maliyet durumunda UnBal10_1 problemi için GAMS ve GA sonuçları

	DICOPT	SBB	BARON	GA
Toplam maliyet	7445	7186	6812	6784
İşlem süresi (sn)	11	45	15007 (kesildi)	0

4.7 Geliştirilen GA'nın Sınanması

Geliştirilen GA, Altınel and Öncan'dan (2005) alınan problemlere uygulanmıştır. gTYDYP'nin çözümü için ihtiyaç duyulan talep, parçanın ilk ve son işlem gördüğü iş istasyonu bilgileri daha önce anlatıldığı şekilde türetilmiştir. Dengeli akış durumu sistemde birden fazla boşaltma istasyonu olması durumunda geçerli olmayabileceği için sadece dengesiz akış matrisine sahip problemler dikkate alınmıştır. Yazarlar, dengesiz akış matrisli 150 problem türetmişlerdir. Bu problemler her birisinde 50'şer parçanın üretildiği 10, 20, 30, 40 ve 50 istasyonlu beş farklı EÜS'ni temsil etmektedir. Yazarlar, bu sistemlerde düşük, orta ve yüksek değişkenlikli parça

akışı için 10'ar problem (bir set) türetmişlerdir. Bu çalışmada bu setteki problemlerden bir tanesi (ilki) dikkate alınmıştır. Böylece tüm durumları kapsayan 15 problem ile ilgilenilmiştir. Çözülen tüm problemlerde popülasyon büyüklüğü ve çaprazlama oranı tek ve n Y/B istasyonlu TYDYP'nde olduğu gibi sırasıyla 20 ve 0.05 olarak alınmıştır. gTYDYP'nde kromozomun birinci bölümüne uygulanan mutasyon operatörünün rassal arama yapması nedeniyle yüksek mutasyon oranı çözüm kalitesini düşürdüğünden mutasyon oranı, 0.10 yerine 0.01 olarak alınmıştır.

Bu problemler, geliştirilen GA ile sistemde tek Y/B istasyonu olması, n adet Y/B istasyonu olması ve Y/B istasyonu sayısının bilinmemesi durumlarına göre çözülmüştür. Sonuçlar, Çizelge 4.9 , Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11'de verilmiştir. Çizelgeler sırasıyla Y/B istasyonu maliyetinin ucuz, orta ve pahalı olduğu durumlarda toplam maliyetleri ve iş istasyonu yerleşim problemi ile Y/B istasyonu yerleşimi probleminin birlikte ele alınması ile toplam maliyetlerde sağlanan iyileşme yüzdelerini göstermektedir. Y/B istasyonu sayısının ve konumunun bilinmediği ve Y/B istasyonu maliyetinin ucuz olduğu durumda TYDYP'nin çözümü ile tek Y/B istasyonu olduğu durumdan ortalama %13.472, n Y/B istasyonu olduğu durumdan ortalama %0.506 daha düşük maliyetli çözümler bulunmuştur. İyileşme yüzdeleri, orta Y/B istasyonu maliyeti durumunda tek Y/B istasyonu durumundan ortalama %10.494, n Y/B istasyonu durumundan ortalama %11.145 olarak değişmektedir. Y/B istasyonu maliyetinin pahalı olduğu durumda ise toplam maliyette tek Y/B istasyonu olduğu durumdan ortalama %5.623, n Y/B istasyonu olduğu durumdan ortalama %38.201 oranında iyileşme görülmektedir. Sonuçlar, Y/B istasyonu sayısının toplam maliyet üzerindeki etkisini açıkça göstermektedir. Çizelgelerde bu sistemler için toplam maliyetleri enküçükleyen yükleme ve boşaltma istasyonu sayıları da görülmektedir.

Çizelge 4.9 Toplam maliyetler ve iyileşme yüzdeleri (ucuz Y/B istasyonu)

Problem	Toplam maliyet			İyileşme yüzdesi			
	Tek Y/B	n Y/B	Y/B serbest	# Y	# B	Tek Y/B	n Y/B
UnBal10_1	7905	5838	5838	10	10	26.148	0.000
UnBal10_11	31275	22219	22218	9	10	28.959	0.005
UnBal10_21	62397	44049	44046	9	10	29.410	0.007
UnBal20_1	25373	21244	21201	14	14	16.443	0.202
UnBal20_11	135241	116253	116003	12	15	14.225	0.215
UnBal20_21	260045	223535	223474	13	14	14.063	0.027
UnBal30_1	55470	50308	50019	14	13	9.827	0.574
UnBal30_11	247350	220491	220461	12	13	10.871	0.014
UnBal30_21	482404	429424	429033	12	14	11.064	0.091
UnBal40_1	93665	86779	86606	11	13	7.536	0.199
UnBal40_11	458328	431359	429741	10	10	6.237	0.375
UnBal40_21	837081	773143	766115	11	12	8.478	0.909
UnBal50_1	137494	131483	129862	10	10	5.551	1.233
UnBal50_11	733682	703669	688906	10	10	6.103	2.098
UnBal50_21	1143981	1079668	1061944	12	11	7.171	1.642
<i>Ortalama</i>						13.472	0.506

Çizelge 4.10 Toplam maliyetler ve iyileşme yüzdeleri (orta maliyetli Y/B istasyonu)

Problem	Toplam maliyet			İyileşme yüzdesi			
	Tek Y/B	n Y/B	Y/B serbest	# Y	# B	Tek Y/B	n Y/B
UnBal10_1	7935	6138	6106	8	9	23.050	0.521
UnBal10_11	31399	23459	23321	7	8	25.727	0.588
UnBal10_21	62631	46389	46136	8	9	26.337	0.545
UnBal20_1	25493	23644	22161	6	6	13.070	6.272
UnBal20_11	135865	128733	120759	6	5	11.118	6.194
UnBal20_21	261259	247815	232345	5	5	11.067	6.243
UnBal30_1	55756	58888	51912	5	4	6.894	11.846
UnBal30_11	248628	258831	227539	4	5	8.482	12.090
UnBal30_21	484884	503824	447618	4	5	7.686	11.156
UnBal40_1	94167	106859	89665	4	4	4.781	16.090
UnBal40_11	460788	529759	439595	4	4	4.599	17.020
UnBal40_21	841601	953943	794784	4	3	5.563	16.684
UnBal50_1	138250	169283	134008	3	3	3.068	20.838
UnBal50_11	737678	903469	716967	4	4	2.808	20.643
UnBal50_21	1150393	1400268	1114020	3	4	3.162	20.442
<i>Ortalama</i>						10.494	11.145

Çizelge 4.11 Toplam maliyetler ve iyileşme yüzdeleri (pahalı Y/B istasyonu)

Problem	Toplam maliyet			İyileşme yüzdesi			
	Tek Y/B	n Y/B	Y/B serbest	# Y	# B	Tek Y/B	n Y/B
UnBal10_1	8071	7498	6784	4	3	15.946	9.523
UnBal10_11	31949	28959	26210	4	4	17.963	9.493
UnBal10_21	63673	56809	51442	4	4	19.209	9.447
UnBal20_1	26027	34324	24152	2	3	7.204	29.635
UnBal20_11	138639	184213	129521	2	2	6.577	29.690
UnBal20_21	266655	355735	253652	2	3	4.876	28.696
UnBal30_1	57022	96868	55713	2	2	2.296	42.486
UnBal30_11	254314	429411	245720	2	2	3.379	42.777
UnBal30_21	495900	834304	481696	2	2	2.864	42.264
UnBal40_1	96393	195899	95525	2	2	0.900	51.238
UnBal40_11	471716	966879	470633	2	2	0.230	51.325
UnBal40_21	861691	1757543	844726	2	2	1.969	51.937
UnBal50_1	141610	337283	141470	2	2	0.099	58.056
UnBal50_11	755430	1791069	750513	1	2	0.651	58.097
UnBal50_21	1178897	2825468	1176741	2	2	0.183	58.352
Ortalama						5.623	38.201

Y/B istasyonu maliyeti arttıkça, yükleme ve boşaltma istasyonu eklenmesi ile taşıma maliyetinde sağlanacak kazanç azaldığından sisteme eklenen yükleme ve boşaltma istasyonu sayısı da azalmaktadır. Böylece ucuz maliyet durumunda tek Y/B istasyonlu duruma göre çok daha düşük toplam maliyetli sonuçlar elde edilirken, pahalı maliyet durumunda n Y/B istasyonlu duruma göre daha iyi sonuçlar elde edilmektedir. Her üç maliyet durumunda da gTYDYP ile tek ve n Y/B istasyonlu TYDYP ile elde edilen sonuçlardan daha iyi sonuçlara ulaşılmıştır.

Problemlerin GA ile çözüm süreleri ise Çizelge 4.12’de verilmiştir. Bütün problemler, 256 MB RAM’e sahip bir Pentium IV bilgisayarda çözülmüştür.

Çizelge 4.12 Çözüm süresi (sn)

Problem	Tek Y/B	n Y/B	Y/B serbest		
			Ucuz	Orta	Pahalı
UnBal10_1	0	0	0	0	0
UnBal10_11	0	0	0	0	0
UnBal10_21	0	0	0	0	0
UnBal20_1	1	1	3	4	4
UnBal20_11	1	1	3	5	3
UnBal20_21	2	3	3	3	1
UnBal30_1	16	26	22	24	22
UnBal30_11	17	15	42	29	23
UnBal30_21	20	20	32	20	28
UnBal40_1	136	80	136	78	108
UnBal40_11	98	110	159	124	79
UnBal40_21	62	157	176	96	93
UnBal50_1	646	371	536	434	519
UnBal50_11	609	230	410	354	435
UnBal50_21	384	487	601	377	337

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

Dairesel malzeme aktarma sistemleri hem konveyör gibi ucuz, hem de OYA ve robot gibi gelişmiş malzeme aktarma donanımı ile birlikte kullanılmaya elverişli olduğu, ayrıca parçalara uygulanan işlem ile taşıma ve stoklama faaliyetlerini birleştirip verimliği arttırabildiği için, bu sistemlerin önümüzdeki yıllarda daha da yaygınlaşarak kullanılması beklenmektedir. Tek yönlü dairesel sistemler ise hem basit yapıları sayesinde daha ucuza mal olmaları, hem de düzgün bir akış sağlayabilme gibi üstünlükleri nedeniyle çift yönlü sistemlere tercih edilmektedir.

Bu çalışmada, tek yönlü dairesel malzeme aktarma sistemlerinin kullanıldığı üretim sistemlerinde karşılaşılan istasyon yerleşim problemi ile ilgilenilmiştir. Problem öncelikle literatürde ele alındığı şekilde yani Y/B istasyonu sayısının ve konumunun bilindiği varsayımı altında ele alınmıştır. Problemin çözümü için bir melez genetik algoritma geliştirilmiştir. Algoritmada mutasyon operatörü TAŞI sezgiseli ile birleştirilerek yerel aramanın güçlendirilmesi yoluna gidilmiştir. Geliştirilen algoritma, literatürden ulaşılabilen tüm TYDYP'ne uygulanmıştır. Öncelikle tek Y/B istasyonlu, eşit uzaklı TYDYP ele alınmıştır. Bu problem dengeli ve dengesiz akış durumlarına göre ayrı ayrı incelenmiş ve her iki durumda da GA ile oldukça iyi sonuçlar elde edilmiştir. Literatürden alınan 300 problem (150 tanesi dengeli, 150 tanesi dengesiz) kullanılarak yapılan deneyler sonucunda GA'nın, karşılaştırılan yöntemler içinde en iyi olan yöntemden dengeli durumda %54, dengesiz durumda %45 daha başarılı olduğu görülmüştür. Daha sonra tek Y/B istasyonlu ENK-ENB ve ENK-TOP problemleri incelenmiş ve bu iki amaç arasındaki ödünleşme fark edilerek iki ölçütlü bir model önerilmiş ve bu model de melez GA ile çözülmüştür. Literatürden alınan 100 problem ile yapılan deneysel çalışmalar sonucunda iki ölçütlü problem ile literatürdeki sonuçlardan çok daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Son olarak da n Y/B istasyonlu TYDYP için literatürdeki tek problem olan 10 Y/B istasyonlu problem ele alınmıştır. Problem, KAP-temelli eniyileme problemi (1. tip) ve kararlılık-temelli eniyileme problemi (2. tip) olmak üzere iki ayrı model için incelenmiştir. Problemin GA ile çözümü sonucunda 1. tip model için mevcut çözüm %50, 2. tip model için de %35

oranında iyileştirilmiştir. Özel durumlar için GA ile çözümde sağlanan iyileşmeler Çizelge 5.1’de toplu olarak görülmektedir.

Çizelge 5.1 Tek ve n Y/B istasyonlu TYDYP için melez GA ile çözümde sağlanan iyileşmeler

	Problem tipi	Problem sayısı	İyileşme
Tek Y/B istasyonlu	Dengeli-eşit uzaklıklı & Dengeli-eşit uzaklıklı olmayan	150	%54
	Dengesiz-eşit uzaklıklı	150	%45
10 Y/B istasyonlu	1. tip (KAP-temelli)	1	%50
	2. tip (Kararlılık-temelli)	1	%35

Tek ve n Y/B istasyonlu TYDYP incelendikten sonra Y/B istasyonu sayısının ve konumunun bilinmediği durumu ifade eden dairesel tasarım problemi ele alınmış ve birbiriyle yakından ilişkili şu üç problem birleştirilerek model geliştirilmiştir:

- i) Sistemde bulunacak yükleme ve boşaltma istasyonu sayısı,
- ii) Yükleme ve boşaltma istasyonlarının malzeme aktarma sistemi üzerindeki konumu ve
- iii) İş istasyonlarının malzeme aktarma sistemi üzerindeki konumlara atanması.

Genelleştirilmiş tek yönlü dairesel yerleşim problemi olarak isimlendirilen bu problem, taşıma maliyeti ile yükleme ve boşaltma istasyonu kurulum maliyetlerinin toplamını enküçükleyecek yapıda modellenmiştir. Aslında problem, iş istasyonlarının atanması ve malzeme aktarma sisteminin tasarlanması (yükleme ve boşaltma istasyonu sayısının ve konumunun belirlenmesi) olmak üzere iki ayrı problemden oluşmaktadır. Birinci problem, tek yönlü dairesel yerleşim problemi olarak isimlendirilmektedir ve KAP’nin özel bir şeklidir. Tek yönlü dairesel yerleşim konusunda şimdiye kadar yapılan çalışmaların tümünde bu iki problem birbirinden ayrı olarak ele alınmış ve ikinci problemin sonuçları birinci probleme girdi olarak verilmiştir. Yükleme ve boşaltma istasyonları ayrı ayrı olabilmesine rağmen literatürdeki çalışmalarda bunların birleşik olduğu varsayılmıştır. Ayrıca Y/B istasyonu sayısı ile ilgili iki uç durum olan

tek Y/B veya iş istasyonu sayısı n kadar Y/B olması durumlarını incelenmiş, aradaki durumlar gözardı edilmiştir. Bu durumda bu iki alt problemin bir arada ele alınması ile ulaşılabilecek düşük maliyetli çözümler kaçırılmaktadır. TYDYP için geliştirilen melez GA, gTYDYP’ni çözecek şekilde yeniden düzenlenmiştir. Geliştirilen algoritmanın başarısı literatürden alınan problemlerle sınanmıştır. GA’nın uyum fonksiyonunda yer alan Y/B istasyonlarının kurulum maliyetleri, rassal olarak türetilmeyip bazı olabilir durumları göz önünde bulundurmak suretiyle taşıma maliyetlerine bağlanmış, taşıma maliyeti cinsinden ifade edilmeye çalışılmıştır. Bu olası durumlar, Y/B istasyonu maliyetlerinin ucuz, orta ve pahalı olması halleridir. GA ile ucuz maliyet durumunda tek Y/B istasyonu olduğu durumdan ortalama %13.472, n Y/B istasyonu olduğu durumdan ortalama %0.506; orta maliyet durumunda tek Y/B istasyonu durumundan ortalama %10.494, n Y/B istasyonu durumundan ortalama %11.145; pahalı maliyet durumunda ise tek Y/B istasyonu olduğu durumdan ortalama %5.623, n Y/B istasyonu olduğu durumdan ortalama %38.201 daha düşük maliyetli çözümler bulunmuştur. Çözümlerde GA ile sağlanan ortalama iyileşme oranları, Çizelge 5.2’de toplu olarak verilmektedir.

Çizelge 5.2 gTYDYP için melez GA ile çözümde sağlanan iyileşmeler

Y/B ist. maliyeti	Tek Y/B istasyonlu çözüme göre			n Y/B istasyonlu çözüme göre		
	UCUZ	ORTA	PAHALI	UCUZ	ORTA	PAHALI
İYİLEŞME	%13.472	%10.494	%5.623	%0.506	%11.145	%38.201

Y/B istasyonu maliyeti arttıkça, tek Y/B istasyonlu çözüme göre sağlanan iyileşme azalırken, n Y/B istasyonlu çözüme göre sağlanan iyileşme artmaktadır. Bunun sebebi, Y/B istasyonu maliyeti pahalı olduğunda sisteme eklenecek bir yükleme ve/veya boşaltma istasyonunun taşıma maliyetinde sağlayacağı katkının Y/B istasyonu ekleme maliyetinden daha az olabilmesidir. Dikkate alınan her üç maliyet durumunda da gTYDYP ile tek ve n Y/B istasyonlu TYDYP ile elde edilen sonuçlardan daha iyi sonuçlara ulaşılmıştır.

Bu çalışmanın sağladığı katkılar şu şekilde sıralanabilir:

- Esnek üretim sistemlerinde yaygın olarak kullanılan bir yerleşim şekli olan tek yönlü dairesel yerleşim konusunda kapsamlı bir çalışma gerçekleştirilmiş ve sistem tasarımı için etkin bir yöntem geliştirilmiştir. Bu konuda şimdiye kadar yapılan çalışmalar TYDYP'nin sadece bazı durumlarını (dengeli TYDYP, eşit uzaklıklı TYDYP, ENK-ENB TYDYP ya da ENK-TOP TYDYP) ele almışlardır. Ancak bu çalışmada TYDYP konusundaki tüm durumlar ele alınmış ve incelenen tüm problemler için başarılı bir çözüm yöntemi geliştirilmiştir.
- Probleme girdi olarak alınan, bu nedenle çözüm üzerinde oldukça önemli etkisi olan varsayımlar (sistemde tek Y/B ve n Y/B istasyonu olması) kaldırılarak daha gerçekçi bir durum olan genelleştirilmiş tek yönlü dairesel yerleşim problemi, ilk kez bu çalışmada tanımlanmış, modellenmiş ve çözülmüştür.
- TYDYP konusunda şimdiye kadar yapılan çalışmalarda yükleme ve boşaltma işlemlerinin ortak bir istasyondan yapıldığı durum dikkate alınmıştır. Oysaki halka konveyörler konusunda yapılan literatür taraması sonucunda bu iki işlemin aynı istasyonda yapılabileceği gibi ayrı istasyonlarda da yapılabileceği görülmüştür. Bu çalışmada önerilen dairesel tasarım problemi dört farklı duruma da (hiç Y/B yok, sadece Y, sadece B, hem Y-hem B) izin vererek tasarımın esnekliğini arttırmaktadır.
- Geliştirilen genetik algorithmada mutasyon operatörü TAŞI sezgiseli ile birleştirilerek yerel aramanın güçlendirilmesi yoluna gidilmiştir. Böylece basit GA'ya göre daha başarılı çözümler türeten bir çözüm yöntemi geliştirilmiştir.
- Algorithmada kullanılan kromozom yapısı ve genetik işlemler, olursuz çözümlere yol açmayacak şekilde tasarlanarak GA'ların zayıf yönlerinden birisi olan kısıtlı problemlerin çözümü karşısında yetersiz kalma durumundan kaçınılmıştır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlardan hareketle gelecekte yapılabilir bazı çalışmalar izleyen şekilde sıralanabilir:

- Genetik algoritmanın bir sezgiselle birleştirilmesi, algoritmanın başarısını arttırırken çözüm süresini de arttırmaktadır. Bu artış, başarılı komşu çözümlerin belirlenmesi aşamasında bunların uyum değerlerinin hesaplanmasından kaynaklanmaktadır. Birkaç genin değişimi ile elde edilen yeni kromozomun uyum değeri, değişmeyen genleri de dikkate alarak hesaplanmaktadır. Oysaki sadece değişiklik yapılan genlerin amaç fonksiyonunda yapacağı değişiklik hesaplanabilirse, uyum değerinin hesaplanma süresi kısalsabilir.
- Yerleşim konusunda yapılan birçok çalışmada olduğu gibi bu çalışmada da istasyonlar arasındaki akışın sabit ve biliniyor olduğu varsayılmıştır. Fakat talep miktarı ve ürün karmasının dinamik yapısı nedeniyle akışlar, bir dönemden diğerine değişebilir. Bu değişiklikle başa çıkmak için akış matrisi bulanık mantık teknikleri kullanılarak oluşturabilir.
- EÜS'nde farklı işlemleri yapma yeteneğine sahip, yüksek kapasiteli tezgahların kullanımıyla, alternatif rotalara sahip parçaların üretimi de mümkün olmaktadır. Bir parçanın alternatif rotalara sahip olabilmesi ya işlem göreceği tezgahlardan sistemde birden fazla sayıda olması ya da parçanın farklı tezgahlarda işlenerek üretilebilir olması ile mümkündür. Her parça için alternatif rotalarından birisinin seçimi, yerleşim probleminin amaç fonksiyonu (taşıma maliyeti) seçilen rotaya bağlı olduğundan oldukça önemlidir. Alternatif rotaların varlığı durumunda tek yönlü dairesel yerleşim probleminin ele alınmasıyla, alternatif rotaların dikkate alınmadığı durumdan daha etkin çözümler elde edilebilir.

6 KAYNAKLAR DİZİNİ

- Afentakis, P., 1989, A loop layout design problem for flexible manufacturing systems, *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 1, 2, 175-196.
- Al-Sultan, K. S., Hussain, M. F. and Nizami, J. S., 1996, A genetic algorithm for the set covering problem, *Journal of the OR Society*, 47, 702-709.
- Altinel, İ. K. and Öncan, T., 2005, Design of unidirectional cyclic layouts, *International Journal of Production Research*, 43, 19, 3983-4008.
- Altıparmak, F. ve Dengiz, B., 1998, Genetik Algoritmalar, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11, 3, 523-541.
- Apple, J. M. and McGinnis, L. F., 1987, Innovations in facilities design and material handling systems, *Industrial Engineering*, 13, 3, 33-38.
- Atmaca, T., 1994, Approximate analysis of a conveyor system, *International Journal of Production Research*, 32, 2645–2655.
- Austin, S., 1989, Introduction of genetic algorithm, *AI Expert*, March, 49-53.
- Barlett, C. A., Gloschal, S. and Moran, P., 1999, New manifesto for management, *Sloan Management Review*, 40, 3, p.9.
- Bastani, A., 1988, Analytical solution of a closed-loop conveyor system with discrete and deterministic material flow, *European Journal of Operational Research*, 35, 187–192.
- Bastani, A., 1990, Closed-loop conveyor systems with breakdown and repair of unloading stations, *IIE Transactions*, 22, 351–360.
- Becker, O., 1967, Das Helmstädtische Reihenfolgeproblem - die Effizienz verschiedener, Näherungsverfahren, in *Computer Uses in the Social Sciences, Bericht einer Working Conference*, Viena Austria.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Bennell, J.A., Potts, C.N. and Whitehead, J.D., 2002, Local search algorithms for the min-max loop layout problem, *Journal of Operational Research Society*, 53, 1109-1117.
- Bilen, C., 1993, Unidirectional loop network layout problem in flexible manufacturing systems, MS thesis, Bilkent University.
- Bozer, Y. A. and Hsieh, Y.-J., 2004, Expected waiting times at loading stations in discrete-space closed-loop conveyors, *European Journal of Operational Research*, 155, 516-532.
- Bozer, Y. A. and Hsieh, Y.-J., 2005, Throughput performance analysis and machine layout for discrete-space closed-loop conveyors, *IIE Transactions*, 37, 77-89.
- Bozer, Y. A. and Rim, S. C., 1989, Exact solution procedures for the circular layout problem, Technical Report 89-33, University of Michigan, USA.
- Bozer, Y. A. and Rim, S. C., 1996, A branch and bound method for solving the bidirectional circular layout problem, *Applied Mathematical Modelling*, 20, 342-351.
- Browne, J., Dubois, D., Rathmill, K., Sethi, S. P. and Stecke, K. E., 1984, Classification of flexible manufacturing systems, *The FMS Magazine*, 2, 2, 114-117.
- Cela, E., 1998, *The quadratic assignment problem: Theory and algorithms*, Kluwer, Norwell, MA.
- Chanas, S. and Kobylanski, P., 1996, A new heuristic algorithm solving the linear ordering problem, *Computational Optimization and Applications*, 6, 191-205.
- Cheng, R. and Gen, M., 1998, Loop layout design problem in flexible manufacturing systems using genetic algorithms, *Computers and Industrial Engineering*, 34, 1, 53-61.
- Cohen, G., 1994, Expert system to control and to design closed loop conveyor systems, *Expert Systems with Applications*, 7, 4, 483-494.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Eastman, R. M., 1987, Materials handling, Industrial Engineering Series, Vol. 15, Marcel Dekker, New York-Basel.
- Francis, R. L., McGinnis, L. F. Jr and White, J. A., 1992, Facility layout and location: an analytic approach, 2nd edn, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Gen, M. and Cheng, R., 1997, Genetic algorithms and engineering design, John Wiley and Sons.
- Goldberg, D.E., 1989, Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning, Addison Wesley Publishing Company, USA.
- Hassan, M.M.D., 1994, Machine layout problem in modern manufacturing facilities, International Journal of Production Research, 32, 11, 2559-2584.
- Held, M. and Karp, R.M., 1962, A dynamic programming approach to sequencing problems, Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics, 10, 196-210.
- Heragu, S.S. and Kusiak, A., 1988, Machine layout problem in flexible manufacturing systems, Operations Research, 36, 2, 258-268.
- Hitomi, K., 1996, Manufacturing systems engineering: a unified approach to manufacturing technology, production management, and industrial economics, Taylor and Francis Inc.
- Hsieh, Y.-J., 2001, Three essays on the performance analysis of closed-loop conveyors with discrete spaces and fixed windows, University of Michigan, PhD thesis.
- Ioannou, G. and Minis, I., 1998, A review of current research in manufacturing shop design integration, Journal of Intelligent Manufacturing, 9, 57-72.
- İşlier, A.A., 2001, Üretim hücrelerinin bir genetik algoritma kullanılarak oluşturulması, Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2, 1, 137-157.
- Joneja, A., 2005,
<http://www.ielm.ust.hk/dfaculty/ajay/courses/ieem513/MH/MHsys.html>

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Kaku, B.K. and Rachamadugu, R., 1992, Layout design for flexible manufacturing systems, *European Journal of Operational Research*, 57, 224-230.
- Karaoğlan, İ. ve Altıparmak, F., 2005, Konkav maliyetli ulaştırma problemi için genetik algoritma tabanlı sezgisel bir yaklaşım, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20, 4, 443-454.
- Karp, R.M. and Held, M., 1967, Finite-state processes and dynamic programming, *SIAM Journal of Applied Mathematics*, 15, 693-718.
- Kıran, A.S. and Karabatı, S., 1993, Exact and approximate algorithms for the loop layout problem, *Production Planning&Control*, 4, 3, 253-259.
- Kıran, A.S., Unal, A.T. and Karabatı, S., 1992, A location problem on unicyclic networks: Balanced case, *European Journal of Operational Research*, 62, 194-202.
- Kouvelis, P. and Kim, M.W., 1992, Unidirectional loop network layout problem in automated manufacturing systems, *Operations Research*, 40, 3, 533-550.
- Kouvelis, P., Chiang, W.C. and Yu, G., 1995, Optimal algorithms for row layout problems in automated manufacturing systems, *IIE Transactions*, 27, 99-104.
- Lee, S., Huang, K. and Chiang, C., 2001, Configuring layout in unidirectional loop manufacturing systems, *International Journal of Production Research*, 39, 6, 1183-1201.
- Leung, J., 1992, A graph-theoretic heuristic for designing loop-layout manufacturing systems, *European Journal of Operational Research*, 57, 243-252.
- Leung, J., 1994, Polyhedral structure and properties of a model for layout design, *European Journal of Operational Research*, 77, 195-207.
- Lin, S., 1965, Computer solutions of the traveling salesman problem, *Bell System Computer Journal*, 44, 2245-2269.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Malakooti, B., 2004, Unidirectional loop network layout by a LP heuristic and design of telecommunications networks, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 15, 117-125.
- Mayer, H., 1960, Introduction to conveyor theory, *Western Electric Engineer*, 4, 1, 43-47.
- Millen, R.A., Solomon, M.M. and Afentakis, P., 1992, The impact of a single input/output device on layout considerations in flexible manufacturing systems, *International Journal of Production Research*, 30, 1, 89-93.
- Montreuil, B., 1990, A modeling framework for integrating layout design and flow network design, in *Progress in Material Handling and Logistics*, Vol. 2, White J. A. and Pence, I. W. (eds), Springer-Verlag, 95-115.
- Morris, W.T., 1962, *Analysis for Materials Handling Management*, Irwin, Homewood, IL.
- Muth, E.J., 1975, Modeling and system analysis of multi-station closed loop conveyors, *International Journal of Production Research*, 13, 6, 559-566.
- Muth, E.J., 1977, A model of a closed-loop conveyor with random material flow, *AIIE Transactions*, 9, 4, 345-351.
- Nearchou, A.C., 2006, Meta-heuristics from nature for the loop layout design problem, *International Journal of Production Economics*, 101, 2, 312-328.
- Or, I., 1976, *Traveling salesman-type combinatorial problems and their relation to the logistics of regional blood banking*, PhD thesis, Northwestern University, Evanston, IL.
- Öncan, T. and Altinel, İ.K., 2007, Exact solution procedures for the balanced unidirectional cyclic layout problem, *European Journal of Operational Research*, In Press.
- Pourbabai, B. and Sonderman, D., 1985, A stochastic recirculation system with random access, *European Journal of Operational Research*, 21, 367-378.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Pourbabai, B., 1986, The effect of variability in a closed-loop conveyor system, *Mathematical Modeling*, 7, 185–196.
- Rajasekharan, M., Peters, B. A. and Yang, T., 1998, A genetic algorithm for facility layout design in flexible manufacturing systems, *International Journal of Production Research*, 36, 1, 95-110.
- Schonberger, R. J., 1984, Just-in-time production systems: replacing complexity with simplicity in manufacturing management, *Industrial Engineering*, 16, 10, 52-63.
- Seifoddini, H. and Tjahjana, B., 1999, Part-family formation for cellular manufacturing: A case study at harnishfeger, *International Journal of Production Research*, 37, 14, 3263-3273.
- Sims, E. R., 1991, Planning and managing industrial logistics systems, *Advances in Industrial Engineering*, Vol. 12, Elsevier.
- Sofianopoulou, S., 1999, Manufacturing Cells design with Alternative Process Plans and/or Replicate Machines, *International Journal of Production Research*, 37, 3, 707-720.
- Sonderman, D., 1982, An analytical model for recirculating conveyors with stochastic inputs and outputs, *International Journal of Production Research*, 20, 591–605.
- Stecke, K. E., 1985, Design, planning, scheduling and control problems of flexible manufacturing systems, *Annals of Operations Research*, 3, 3-12.
- Tansel, B.C. and Bilen, C., 1998, Move based heuristics for the unidirectional loop network layout problem, *European Journal of Operational Research*, 108, 36-48.
- Tian, P., Ma, J. and Zhang, D.M., 1999, Application of the simulated annealing algorithm to the combinatorial optimisation problem with permutation property: An investigation of generation mechanism, *European Journal of Operational Research*, 118, 1, 81-94.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

Tompkins, J.A., White, J.A., Bozer, Y.A., Frazelle, E.H., Tanchoco, J.M.A. and Trevino, J., 1996, Facilities Planning. Second Edition , John Wiley and Sons, New York.

Türkbey, O., 2002, Genetik algoritmalar ve tesis düzenlemesi probleminde kullanımı: Teori ve metodoloji (Kısım 1), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 15, 1, 317-331.

Warndecke, H. J., 1985, FMS Research viewpoint, Proceedings of the 4th International Conference on FMS, (Ed.) Lindholm R., 1-12.

Xue, J. and Proth, J., 1987, Closed loop conveyor system, INFOR, 25, 84–92.

Genelleştirilmiş Tek Yönlü Dairesel Yerleşim Problemine
Genetik Algoritma Tabanlı Bir Çözüm Yaklaşımı

Feriştah Özçelik

EKLER

- Ek.1. Bal10-1 Probleminin Altinel and Öncan'ın (2005) Gevşetilmiş Modeli İle Çözümü İçin GAMS Kodu
- Ek.2. Bal10-1 Probleminin Bozer and Rim (1989) Modelinin Sıkı Hali İle Çözümü İçin GAMS Kodu
- Ek.3. 20 Büyüklüğündeki Dengeli TYDYP İçin Eniyi Çözümünden ve Alt Sınırdan Sapma Yüzdeleri ve İşlem Süreleri
- Ek.4. 20 Büyüklüğündeki Dengesiz TYDYP İçin Eniyi Çözümünden ve Alt Sınırdan Sapma Yüzdeleri ve İşlem Süreleri
- Ek.5. Pahalı Maliyet Durumunda UnBal10-1 Probleminin gTYDYP İçin Önerilen Model İle Çözümü İçin GAMS Kodu

Danışman: Prof. Dr. A. Attila İşlier

Haziran 2007

Ek.1. Bal10-1 probleminin Altinel and Öncan'ın (2005) gevşetilmiş modeli ile çözümü için GAMS kodu

```
option optcr=0;
option reslim =100000000000;
option iterlim = 1000000;
option mip=cplex;

scalars
    n      /10/;

SETS
    i tesis /1*10/;

alias (i,k,j);

table f(i,j) Tasima matrisi
    1      2      3      4      5      6      7      8      9      10
1      0      37      30      12      40      44      15      29      20      34
2      45      0      11      12      29      7      9      16      0      32
3      30      1      0      7      12      21      29      8      7      8
4      35      2      12      0      22      15      38      6      11      1
5      24      12      4      18      0      7      23      32      22      6
6      4      36      3      17      11      0      11      14      5      14
7      26      20      28      19      22      3      0      19      25      4
8      22      11      3      22      1      16      9      0      47      22
9      44      40      8      13      8      1      13      10      0      10
10     31      2      24      22      3      1      19      19      10      0
;

scalars
    t      /0/;

free variables
    z ;

variables
    d(i,j);

equations
    kisit1(i)
    kisit2(i,j)
    kisit3(i,j,k)
    amac;

amac..    sum((i,j)$ (ord(j) ne ord(i)), f(i,j)*d(i,j))=e=z ;

kisit1(i).. sum(j$(ord(j) ne ord(i)), d(i,j))=e=sum(j$(ord(j) ne
ord(i)), d(j,i));
kisit2(i,j)$ (ord(j) ne ord(i)).. d(i,j)+d(j,i)=e=n;
kisit3(i,j,k)$ ((ord(j) ne ord(i)) and (ord(j) ne ord(k)) and (ord(i) ne
ord(k))).. d(i,j)+d(j,k)-d(i,k)=l=n;

model atama /all/;
solve atama using mip minimizing z;
t=t+atama.resusd;
display t;
```

**Ek.2. Bal10-1 probleminin Bozer and Rim (1989) modelinin sıkı ile çözümü için
GAMS kodu**

```

option optcr=0;
option reslim =10000000000;
option iterlim = 1000000;
option mip=cplex;

scalars n      /10/;

SETS
      i tesis /1*10/;

alias (i,k,j);

table f(i,j) Tasima matrisi
      1      2      3      4      5      6      7      8      9      10
1      0      37      30      12      40      44      15      29      20      34
2      45      0      11      12      29      7      9      16      0      32
3      30      1      0      7      12      21      29      8      7      8
4      35      2      12      0      22      15      38      6      11      1
5      24      12      4      18      0      7      23      32      22      6
6      4      36      3      17      11      0      11      14      5      14
7      26      20      28      19      22      3      0      19      25      4
8      22      11      3      22      1      16      9      0      47      22
9      44      40      8      13      8      1      13      10      0      10
10     31      2      24      22      3      1      19      19      10      0
;

scalars          t      /0/;

free variables   z ;

variables        d(i,j);

binary variables x(i,j,k);

equations
      kisit1(j)
      kisit2(i)
      kisit3(i,j)
      kisit4(i,j,k)
      amac;

amac..   sum((i,j)$(ord(j) ne ord(i)),f(i,j)*d(i,j))=e=z ;

kisit1(j).. sum(i,d(i,j))=e=n*(n-1)/2;
kisit2(i).. sum(j,d(i,j))=e=n*(n-1)/2;
kisit3(i,j)$(ord(j) ne ord(i)).. d(i,j)+d(j,i)=e=n;
kisit4(i,j,k)$((ord(j) ne ord(i))and(ord(j) ne ord(k))and (ord(i) ne
ord(k)) ).. d(i,j)+d(j,k)-d(i,k)=e=x(i,j,k)*n;

model atama /all/;
solve atama using mip minimizing z;
t=t+atama.resusd;
display t;

```

Ek.3. 20 büyüklüğündeki dengeli TYDYP için eniyi çözümden ve alt sınırdan sapma yüzdeleri ve işlem süreleri

	SAPMA		SÜRELER (sn)		
	Eniyi	Alt sınır	Eniyi	Alt sınır	GA
Bal20_1	0	0,031	4,250	0	1
Bal20_2	0	0,501	9,218	0	1
Bal20_3	0	0	2,078	0	1
Bal20_4	0	0,037	4,000	0	1
Bal20_5	0	0	2,468	0	1
Bal20_6	0	0	2,187	0	1
Bal20_7	0	0	2,890	0	1
Bal20_8	0	0	2,625	0	1
Bal20_9	0	0	2,750	0	1
Bal20_10	0	0,041	4,609	0	2
Bal20-L	0	0,061	3,7075	0	1,1
Bal20_11	0	0	2,390	0	0
Bal20_12	0	0	2,765	0	1
Bal20_13	0	0	2,312	0	1
Bal20_14	0	0	2,296	0	1
Bal20_15	0	0	2,375	0	1
Bal20_16	0	0	2,687	0	1
Bal20_17	0	0	2,515	0	1
Bal20_18	0	0,085	4,437	0	1
Bal20_19	0	0	2,468	0	1
Bal20_20	0	0	2,140	0	1
Bal20-M	0	0,008	2,6385	0	0,9
Bal20_21	0	0	2,234	0	1
Bal20_22	0	0	2,562	0	3
Bal20_23	0	0	2,562	0	1
Bal20_24	0	0	2,796	0	2
Bal20_25	0	0	2,687	0	1
Bal20_26	0	0	2,281	0	1
Bal20_27	0	0	2,171	0	1
Bal20_28	0	0	2,328	0	1
Bal20_29	0	0	2,640	0	1
Bal20_30	0	0,049	3,437	0	1
Bal20-H	0	0,005	2,5698	0	1,3

Ek.4. 20 büyüklüğündeki dengesiz TYDYP için eniyi çözümden ve alt sınırdan sapma yüzdeleri ve işlem süreleri

	SAPMA		SÜRELER (sn)		
	Eniyi	Alt sınır	Eniyi	Alt sınır	GA
UnBal20_1	0	0	2,453	0	1
UnBal20_2	0	0,772	10,000	0	2
UnBal20_3	0	0	2,312	0	1
UnBal20_4	0	0	2,625	0	2
UnBal20_5	0	0	2,281	0	1
UnBal20_6	0	0	2,265	0	1
UnBal20_7	0	0	2,359	0	1
UnBal20_8	0	0	2,500	0	1
UnBal20_9	0	0	2,328	0	1
UnBal20_10	0	0	2,171	0	1
UnBal20-L	0	0,077	3,129	0	1,2
UnBal20_11	0	0,044	3,718	0	1
UnBal20_12	0	0	2,171	0	1
UnBal20_13	0	0	2,343	0	1
UnBal20_14	0	0,646	11,218	0	1
UnBal20_15	0	0	2,671	0	2
UnBal20_16	0	0	2,703	0	1
UnBal20_17	0	0,081	4,546	0	2
UnBal20_18	0	0	2,296	0	1
UnBal20_19	0	0	2,671	0	1
UnBal20_20	0	0	2,812	0	2
UnBal20-M	0	0,077	3,715	0	1,3
UnBal20_21	0	0	2,359	0	3
UnBal20_22	0	0	2,250	0	1
UnBal20_23	0	0,242	7,000	0	1
UnBal20_24	0	0	2,328	0	1
UnBal20_25	0	0	2,640	0	1
UnBal20_26	0	0,112	5,984	0	1
UnBal20_27	0	0	2,687	0	1
UnBal20_28	0	0	2,625	0	1
UnBal20_29	0	0,088	6,062	0	1
UnBal20_30	0	0	2,328	0	1
UnBal20-H	0	0,044	3,626	0	1,2

Ek.5. Pahalı maliyet durumunda UnBal10-1 probleminin gTYDYP için önerilen model ile çözümü için GAMS kodu

```
option optcr=0;
option reslim =10000000000;
option iterlim = 1000000;
option MINLP=dicopt;
```

scalars

```
n istasyon sayısı /10/
p Y ist maliyeti /84/
q B ist maliyeti /84/
sure /0/ ;
```

SETS

```
i konum /1*10/
k parça /1*50/;
```

alias (i,j,a,b);

table f(a,b) unball10-1 akış matrisi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	29	22	22	38	36	30	49	21	41
2	0	0	23	11	25	11	2	10	0	28
3	0	4	0	12	6	24	25	8	4	9
4	0	7	6	0	13	16	36	4	26	10
5	0	9	5	17	0	17	14	28	31	7
6	0	35	8	6	10	0	12	25	8	14
7	0	20	33	23	15	5	0	13	22	17
8	0	15	3	23	2	15	8	0	34	14
9	0	28	9	13	8	7	20	17	0	3
10	0	3	29	18	1	4	23	25	22	0

;

table d(i,j) uzaklık matrisi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8
3	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7
4	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6
5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5
6	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4
7	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3
8	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2
9	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1
10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0

;

Parameters

t(k) talep

```
/
1      1,2      1,3      9,4      3,5      3,
6      7,7      4,8      2,9      4,10     5,
11     2,12     5,13     2,14     9,15     2,
16     4,17     9,18     4,19     8,20     4,
21     7,22     9,23     7,24     4,25     2,
26     4,27     5,28     3,29     8,30     4,
31     5,32     2,33     9,34     4,35     8,
36     10,37    5,38     9,39     8,40     1,
41     2,42     2,43     6,44     1,45     6,
46     1,47     8,48     7,49     8,50     7
/
```

l(k) parçaların ilk işleneceği tezgah

```
/
1      6,2      3,3      7,4      6,5      10,
6      7,7      10,8     3,9      7,10     3,
11     1,12     8,13     5,14     9,15     6,
16     6,17     10,18    7,19     4,20     1,
21     8,22     10,23    8,24     8,25     2,
26     2,27     10,28    8,29     6,30     9,
31     7,32     3,33     1,34     7,35     3,
36     9,37     2,38     3,39     6,40     10,
41     2,42     2,43     3,44     2,45     6,
46     5,47     3,48     2,49     7,50     8
/
```

s(k) parçaların son işleneceği tezgah

```
/
1      8,2      1,3      1,4      1,5      2,
6      8,7      9,8      4,9      7,10     5,
11     8,12     5,13     4,14     9,15     9,
16     2,17     1,18     1,19     1,20     2,
21     7,22     3,23     6,24     3,25     4,
26     9,27     4,28     4,29     7,30     7,
31     10,32    4,33     5,34     3,35     8,
36     8,37     6,38     8,39     5,40     6,
41     6,42     9,43     7,44     2,45     5,
46     5,47     2,48     1,49     6,50     7
/
;
```

free variables

o ;

binary variables

```
x(i,a)
y(i)
z(i)
w(k,i)
h(k,i);
```

equations

```
kisit1(a)  
kisit2(i)  
kisit3  
kisit4  
kisit5(k)  
kisit6(k)  
amac;
```

```
amac.. sum((i,j,a,b)$ (d(i,j)*f(a,b)), x(i,a)*d(i,j)*f(a,b)*x(j,b))+  
sum((i,j,k,b)$ (ord(b) eq l(k)), w(k,i)*x(j,b)*d(i,j)*t(k))+  
sum((i,j,k,b)$ (ord(b) eq s(k)), h(k,i)*x(j,b)*d(j,i)*t(k))+  
sum(i,y(i)*p)+sum(i,z(i)*q)=e=0;
```

```
kisit1(a).. sum(i,x(i,a))=e=1;  
kisit2(i).. sum(a,x(i,a))=e=1;  
kisit3..sum(i,y(i))=g=1;  
kisit4..sum(i,z(i))=g=1;  
kisit5(k)..sum(i,y(i)*w(k,i))=e=1;  
kisit6(k)..sum(i,z(i)*h(k,i))=e=1;
```

```
model atama /all/;  
solve atama using MINLP minimizing o;  
sure=sure+atama.resusd;  
display sure;
```

ÖZGEÇMİŞ

Feriştah ÖZÇELİK, 1975 yılında Aydın'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Aydın'da tamamladıktan sonra 1997 yılında Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 2001 yılında yüksek lisans, 2007 yılında doktora öğrenimini tamamladı. 1997 yılından bu yana Osmangazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünde öğretim elemanı olarak çalışmakta olup, evli ve bir çocuk annesidir.