

**İKİ AŞAMALI HAT ZAMAN PENCERELİ ARAÇ ROTALAMA
PROBLEMİ**

Cihan ÇETİNKAYA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2011

ANKARA

Cihan ÇETİNKAYA tarafından hazırlanan “İKİ AŞAMALI HAT ZAMAN PENCERELİ ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN
Tez Danışmanı, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.
Doç. Dr. Mehmet Ali AKÇAYOL
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.
Yrd. Doç. Dr. Mehmet ATAÇ
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Tarih: 10/01/2011

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Cihan ÇETİNKAYA

İKİ AŞAMALI HAT ZAMAN PENCERELİ ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Cihan ÇETİNKAYA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ocak 2011

ÖZET

Günümüz rekabet/güvenlik ortamında işletmelerin/kurumların, tedarik zincirindeki süreçlerini eniyilemek ve etkin bir şekilde yönetmek amacıyla çeşitli kararlar alması gerekmektedir. En önemli kararlardan birisi de üreticiden son kullanıcıya kadar geçen süreçte ürünlerin dağıtımı ile ilgilidir. Araç Rotalama Problemi (ARP) kavramı ile ilk kez tanımlandığı günden bu zamana kadar çok çeşitli çalışmalarda karşılaşılmaktadır. Bu çalışmalar dikkate alındığında, zaman pencereli, topla-dağıt, maksimum rota uzunluklu ARP gibi çok çeşitli problemlerin ele alındığı görülmektedir. Bu tez kapsamında ele alınan problem ise zaman pencereli ARP'nin değişik bir tipi olan İki Aşamalı Hat Zaman Pencereli ARP (2HZP_ARP) dir. Özellikle de günümüz Türkiye'sinin kabul görmüş gerçeklerinden birisi olan “terör” kavramı ile ön plana çıkan “güvenli taşımacılık” ile doğrudan ilişkisi olan bu problem, bilindiği kadarı ile literatürde ilk kez ele alınmıştır. Bu problem için bir matematiksel model ve kısa sürede iyi sonuçlar veren sezgisel bir yöntem geliştirilmiştir. Literatürden türetilen test problemleri kullanılarak yapılan deneysel çalışmalar sonucunda küçük boyutlu problemlerde her iki yöntem ile en iyi çözümlere, büyük boyutlu problemlerde ise geliştirilen sezgisel yöntem ile makul çözüm sürelerinde oldukça iyi sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür.

Bilim Kodu : 906.1.148
Anahtar Kelimeler : İki aşamalı hat zaman pencereli araç rotalama problemi,
matematiksel model, genetik algoritma
Sayfa Adedi : 63
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

**TWO STAGE VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH ARC TIME
WINDOWS**

(M. Sc. Thesis)

Cihan ÇETİNKAYA

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

January 2011

ABSTRACT

In today's competitive environment, the companies have to make decisions to optimize the supply chain processes and manage the whole chain effectively. One of the most important decisions is about the distribution of goods from the manufacturer to customers. We can see the vehicle routing problems in many studies since the first appearance of the problem. In these studies there are different types as VRP with time Windows, VRP with Backhauls, VRP with Pickup and Delivery. This thesis examines the Two Stage Vehicle Routing Problem with Arc Time Windows which is a special type of the VRP. The problem emerges from the need of "safe transportation" against terrorism and to the best of our knowledge; it has never been studied in the literature. A mathematical model and a heuristic approach that gives good results in short time are developed to solve this problem. The quality of both solution approaches is measured by using the test problems in the literature and it is found that both solution approaches give the optimal solutions for small-sized problems, but heuristic approach gave very good solutions for large scale problems in a short computation time.

Science Code	: 906.1.148
Key Words	: Two stage vehicle routing problem with arc time windows, mathematical model, genetic algorithm
Page Number	: 63
Adviser	: Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarını hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kıymetli fikir, deneyim ve yönlendirmeleri sayesinde tez çalışmalarımın olgunlaşmasında büyük katkısı olan Yrd. Doç. Dr. Selçuk Kürşat İŞLEYEN ve Dr. İsmail KARAOĞLAN'a, sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Eğitimim ve tez çalışmalarım boyunca sabır ve metanetle her zaman yanımda olan aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ	4
2.1. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi	4
2.2. Topla Dağıt Kısıtlı Araç Rotalama Problemi.....	6
2.3. Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi	8
2.4. Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi	8
2.5. Hat Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi	9
2.6. Araç Rotalama Problemleri Arasındaki İlişkiler.....	9
3. İKİ AŞAMALI HAT ZAMAN PENCERECLİ ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ	11
3.1. Problem Tanımı.....	11
3.2. Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi ile İlgili Kaynak Araştırması	13
3.3. İki Aşamalı Hat Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi İçin Önerilen Matematiksel Model.....	16

Sayfa

4. GENETİK ALGORİTMA'YA DAYALI GELİŞTİRİLEN SEZGİSEL	
ALGORİTMA	21
4.1. Çözüm Gösterimi	22
4.2. Genetik Operatörler.....	24
4.2.1. Seçim stratejisi.....	24
4.2.2. Çaprazlama operatörü.....	25
4.2.3. Mutasyon operatörü.....	25
4.3. GA'nın Adımları	26
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	27
5.1. Test Problemleri	27
5.2. Deneysel karşılaştırmalar	28
6. SONUÇ VE İLERİ ÇALIŞMALAR.....	55
KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ	63

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.1. C tipi sıkı zaman pencereli problemler ile ilgili deneysel sonuçlar	30
Çizelge 5.2. R tipi sıkı zaman pencereli problemler ile ilgili deneysel sonuçlar	31
Çizelge 5.3. RC tipi dar zaman pencereli problemler ile ilgili deneysel sonuçlar	32
Çizelge 5.4. C tipi geniş zaman pencereli problemler ile ilgili deneysel sonuçlar	41
Çizelge 5.5. R tipi geniş zaman pencereli problemler ile ilgili deneysel sonuçlar	42
Çizelge 5.6. RC tipi geniş zaman pencereli problemler ile ilgili deneysel sonuçlar..	43

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Örnek bir ARP çözümü.....	4
Şekil 2.2. ARP ve ARP'nin değişik tipleri arasındaki ilişkiler	10
Şekil 4.1. Örnek kromozom yapısı.....	22
Şekil 4.1.(Devam) Örnek kromozom yapısı	23
Şekil 4.2. Önerilen GA'nın adımları	26
Şekil 5.1. C tipi 25 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları	33
Şekil 5.2. C tipi 25 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri	33
Şekil 5.3. C tipi 50 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları	34
Şekil 5.4. C tipi 50 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri	34
Şekil 5.5. C tipi 100 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları	35
Şekil 5.6. C tipi 100 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri	35
Şekil 5.7. R tipi 25 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları	36
Şekil 5.8. R tipi 25 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri	36
Şekil 5.9. R tipi 50 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları	37
Şekil 5.10. R tipi 50 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri	37
Şekil 5.11. R tipi 100 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları	38
Şekil 5.12. R tipi 100 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri	38
Şekil 5.13. RC tipi 25 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları.....	39
Şekil 5.14. RC tipi 25 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri.....	39
Şekil 5.15. RC tipi 50 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları.....	40
Şekil 5.16. RC tipi 50 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri.....	40
Şekil 5.17. RC tipi 100 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları.....	44
Şekil 5.18. RC tipi 100 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri.....	44
Şekil 5.19. C tipi 25 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları.....	45

Şekil	Sayfa
Şekil 5.20. C tipi 25 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri.....	45
Şekil 5.21. C tipi 50 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları.....	46
Şekil 5.22. C tipi 50 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri.....	46
Şekil 5.23. C tipi 100 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları.....	47
Şekil 5.24. C tipi 100 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri.....	47
Şekil 5.25. R tipi 25 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları.....	48
Şekil 5.26. R tipi 25 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri.....	48
Şekil 5.27. R tipi 50 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları.....	49
Şekil 5.28. R tipi 50 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri.....	49
Şekil 5.29. R tipi 100 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları.....	50
Şekil 5.30. R tipi 100 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri.....	50
Şekil 5.31. RC tipi 25 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları	51
Şekil 5.32. RC tipi 25 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri	51
Şekil 5.33. RC tipi 50 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları	52
Şekil 5.34. RC tipi 50 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri	52
Şekil 5.35. RC tipi 100 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları	53
Şekil 5.36. RC tipi 100 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri	53

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simge ve kısaltmalar açıklamaları ile aşağıda verilmiştir.

Simgeler	Açıklama
I	ana depo kümesi
J	ara depo kümesi
K	müşteri kümesi
K_j	<i>j</i> deposuna bağlı müşteri kümesi ($\forall j \in J$)
N	tüm düğümler kümesi ($N = I \cup J \cup K$)
c_{ij}	<i>i</i> düğümünden <i>j</i> düğüme taşıma maliyeti ($\forall i, j \in N$)
t_{ij}	<i>i</i> düğümünden <i>j</i> düğüme ulaşım süresi ($\forall i, j \in N$)
d_k	<i>k</i> müşterisinin talebi ($\forall k \in K$)
Q_{rd}	ana depo ile ara depo arasında kullanılan araçların kapasitesi
Q_{dc}	ara depo ile müşteriler arasında kullanılan araçların kapasitesi
a_{ij}	(<i>i, j</i>) hattının kullanılabileceği en erken zaman
b_{ij}	(<i>i, j</i>) hattının kullanılabileceği en geç zaman
M	büyük bir sayı
Kısaltmalar	Açıklama
2HZP_arp	İki Aşamalı Hat Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi
arp	Araç Rotalama Problemi
ETD_arp	Eşzamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi
GA	Genetik Algoritma
GSP	Gezgin Satıcı Problemi
HZP_arp	Hat Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi
KK_arp	Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
KTD_arp	Karma Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi

Kısaltmalar	Açıklama
MK_ARP	Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
ÖDST_ARP	Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi
TD_ARP	Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi
YSD	Yüzde Sapma Değeri
ZP_ARP	Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi

1. GİRİŞ

Günümüzde yoğun rekabet, kurumları ürün/hizmet kalitelerini arttırmaya, pazara tepki hızını yükseltmeye ve bunları başarırken de maliyetlerini düşürmeye zorlamaktadır. Lojistik süreç içerisinde dağıtım genelde tek başına yüksek maliyetli bir işlemdir. Lojistik süreçteki toplam maliyetlerin %30-60 ını dağıtım maliyetleri oluşturmaktadır. Bu nedenle önemli bir bileşen olup etkin olarak yönetilmesi gereklidir. Dağıtım yönetiminin amacı, istenen müşteri hizmet düzeyine en düşük maliyetle ulaşacak bir dağıtım sistemini tasarlamak ve buna işlerlik kazandırmaktır. İyi bir dağıtım yönetimi işletmenin toplam dağıtım maliyetlerinde önemli ölçüde bir azalma sağlayabilmektedir. Bu nedenle taşıma maliyetlerinin en küçüklenmesi konusunda pek çok araştırmanın yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmaların önemli bir kısmının Araç Rotalama Problemi (ARP) alanında olduğu gözlenmektedir.

ARP ilk olarak 1959 yılında Dantzig ve Ramser tarafından literatüre kazandırılmıştır [Dantzig ve Ramser, 1959]. Yazarlar bu çalışmalarında benzin istasyonlarına benzin dağıtım problemi üzerinde durmuşlar ve problemin çözümü için ilk matematiksel programlama modelini kurmuşlardır. Daha sonra 1964 yılında Clark and Wright probleme sezgisel bir çözüm önermiş ve bu çalışmadan sonra literatürde ARP' ye ilgi daha da artarak büyümüştür [Clarke ve Wright, 1964]. ARP şu ana kadar üzerinde en fazla yöntem geliştirilen eniyileme problemlerinden biridir. Klasik ARP problemleri, her rotanın depodan başlayıp depoda bittiği, her bir müşteriye bir kez uğrandığı ve her bir aracın hizmet ettiği müşterilerin talepleri toplamının araç kapasitesini geçmediği rotalar kümesinin tespit edildiği problemlerdir. Bunun yanı sıra problemin türüne göre bazı yan kısıtların da (*side constraints*) sağlanması gerekebilmektedir. En yaygın olan yan kısıtlar; talep noktalarında hizmetin başlayabileceği zaman penceresi kısıtı, bir rotada olabilecek en fazla talep noktası kısıtı, bir rotada aracın toplam süre kısıtı, bir talep noktasının başka bir talep noktasından önce ziyaret edilmesinin gerektiği öncelik kısıtıdır. ARP, çözüm için gerekli olan hesaplama gücünün problemin boyutuyla birlikte üstel olarak arttığı NP-zor problemler sınıfına girmektedir. Bu nedenle, ARP'de en iyi ya da en iyiye yakın çözümlere hızlı bir şekilde ulaşabilmek için çeşitli sezgisel/meta sezgisel yöntemler geliştirilmiştir.

Bu tezde zaman pencereli ARP' nin (ZP_ARP) değişik bir tipi ele alınmıştır. ZP_ARP' de bir müşteriye belirli bir zaman aralığında uğranması esastır. Eğer araç müşteriye bu zaman aralığından önce gelirse, zaman aralığının alt sınırına kadar beklemektedir. Zaman aralığının üst sınırından sonra araç girişi ise kabul edilmemektedir. Pratikte, ZP_ARP kapsamına giren birçok durum söz konusudur. Örneğin, marketler gün içerisinde müşterileri alışveriş yaparken market içerisinde çalışanların dolaşmasını istememektedir. Dolayısıyla raf düzenlemeleri, market açılışından önce yapılmaktadır. Bu işlemlerin gerçekleştirilebilmesi için de markete tedarikçi den ürün sevkiyatının sabah erken saatlerde (örneğin 7:00-9:00 arasında) gerçekleştirilmesi istenmektedir. Bu sistemde, marketlere gerçekleştirilecek ürün sevkiyatı problemi ZP_ARP olarak kabul edilebilir.

Literatürde ZP_ARP için şimdiye kadar yapılan çalışmalar incelendiğinde, düğümler için zaman penceresi tanımlandığı görölmüştür. Fakat düğümlere ek olarak hatlar üzerinde zaman penceresinin mevcut olduğu durumlar da pratikte mevcuttur. Bunun en iyi örneği askeri sistemlerde karşımıza çıkmaktadır. Jandarma Genel Komutanlığının lojistik sistemi incelendiğinde; Ankara'da konuşlu bulunan fabrikada üretilen ya da tamir edilen yedek parçaların Türkiye'nin dört bir tarafındaki illere sevk edildiği, il merkezlerinden ise ilçe ve sınır birliklerine gönderildiği görölmektedir. Jandarma Genel Komutanlığı dağıtım maliyetlerini azaltmak ve askeriye ye ait sivil araçlarla dağıtımı kendisi gerçekleştirmek istemektedir. Ancak günümüzün kabul görmüş gerçeklerinden birisi olan "terör" nedeniyle doğu bölgelerine yapılan sevkiyatlarda "emniyetli gün" uygulaması söz konusudur. Bu uygulamaya göre, bazı yollar emniyet açısından günün sadece belirli zaman aralıklarında (örneğin gündüz saatlerinde) araç sevkiyatı için uygundur. Bu zaman aralıkları dışında bu yolların kullanılmasına izin verilmemektedir. Bu tür bir problem ZP_ARP'ye benzerlik gösterse de, ZP_ARP için geliştirilmiş çözüm yöntemleri bu problem için yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, bu tez kapsamında ARP'nin değişik bir tipi olan İki Aşamalı Hat Zaman Pencereli ARP (2HZP_ARP) ilk kez ele alınmış, problemin tanımı ve varsayımları ortaya konularak bir matematiksel model geliştirilmiştir. Buna ek olarak kısa sürelerde iyi çözümler veren sezgisel bir yöntem önerilmiştir. Geliştirilen matematiksel model ve sezgisel yöntemin performansı

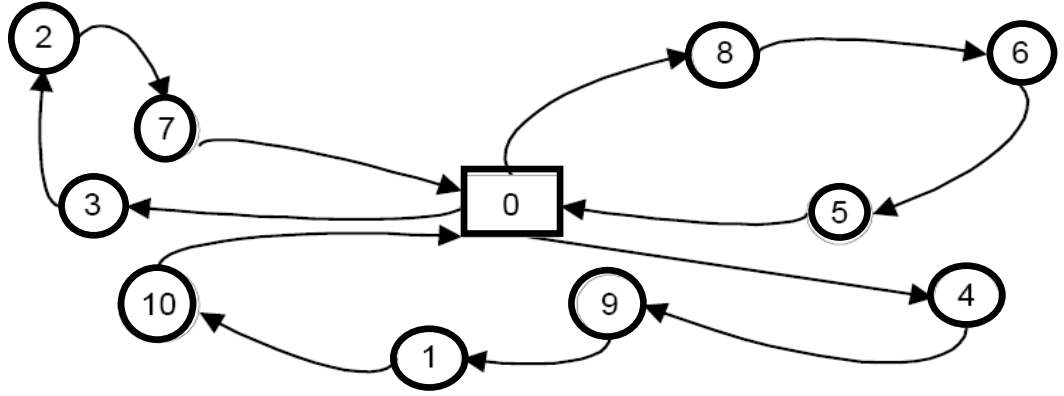
literatürde ZP_ARP için geliştirilmiş olan ve düğüm sayılarının 25 ile 100 arasında değiştiği test problemleri kullanılarak incelenmiştir. Sonuç olarak, hem matematiksel model hem de sezgisel yöntem ile küçük boyutlu test problemlerinde en iyi sonuçlara ulaşılmıştır. Büyük boyutlu problemlerde ise geliştirilen sezgisel yöntem ile makul süreler içerisinde oldukça iyi çözümlere ulaşıldığı tespit edilmiştir.

Tezin diğer bölümleri şu şekilde organize edilmiştir.

İkinci bölümde, ARP'nin tanımı ve değişik tipleri ele alınmıştır. Üçüncü bölümde ise 2HZIP_ARP'nin tanımı yapılmış, literatürde 2HZIP_ARP ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmadığı için problemin bir alt problemi olan ZP_ARP için yapılan çalışmalar incelenmiş ve 2HZIP_ARP için geliştirilen matematiksel model sunulmuştur. 2HZIP_ARP için önerilen sezgisel yönteme ise dördüncü bölümde detayları ile değinilmiştir. Geliştirilen matematiksel model ve sezgisel yöntemin performansını test etmek amacıyla yapılacak deneysel çalışmalar ise beşinci bölümde ele alınmıştır. Son olarak, genel bir değerlendirme yapılarak bu konuda ileride yapılabilecek çalışmalar tartışılmıştır.

2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ

Araç Rotalama Problemi (ARP), müşteri ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla bir araç filosu için en küçük maliyetli rotaların belirlenmesi problemidir. Kuzey Amerika ve Avrupa’da gerçekleştirilen pratik uygulamalarda, bilimsel yöntemler kullanılarak planlanan dağıtım işlemleri ile toplam ulaştırma maliyetlerinde %5 ile %20 arasında bir iyileşme gerçekleşmiştir. Bu tür iyileştirmeler global ekonomi üzerinde gözle görülür bir etkiye neden olmaktadır. Aşağıdaki şekilde örnek bir ARP çözümü sunulmaktadır.



Şekil 2.1. Örnek bir ARP çözümü

Ekonomideki öneminden dolayı yaklaşık 50 yıldır üzerinde çalışmalar yapılan ARP, ilk kez 1959 yılında Dantzig ve Ramser [Dantzig ve Ramser, 1959] tarafından öne sürülmüştür. Bu çalışmanın devamında bu problem için çeşitli araştırmacılar tarafından değişik matematiksel modeller geliştirilmiş ve çözüm yöntemleri önerilmiştir [Toth ve Vigo, 2002]. Bu bölümde ilk olarak ARP’nin değişik tipleri ele alınarak bunlar arasındaki ilişkilere değinilecektir.

2.1. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi

ARP’nin en temel hali olarak düşünülen Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KK_ARP) nin temel varsayımları şunlardır.

1. Müşteri talepleri belirli, biliniyor ve bölünemez,
2. Depo ile müşteri ve müşteriler arasındaki uzaklıklar ve taşıma süreleri sabit ve biliniyor,
3. Araçlar özdeş, sınırsız sayıda, kapasiteli, kapasitesi biliniyor ve merkezi depoda müşterilere servis için hazır beklemekte,

KK_arp şu şekilde tanımlanabilir: $G(V,A)$ tam bağlı (bütün düğümler arasında doğrudan bir hattın mevcut olduğu durum) bir şebeke olsun. Burada $V = \{0, \dots, N\}$ düğüm kümesi, A ise bu düğümler arasında tanımlanan hat kümesidir. Düğüm kümesinde '0' düğümü depoyu, ' $1, \dots, N$ ' düğümleri ise müşterileri temsil etmektedir. *KK_arp* tanımlanan bu şebeke üzerinde aşağıdaki kısıtları sağlayan en küçük maliyetli rotaların tespiti problemidir.

1. Her müşteriye kesinlikle bir kez uğranmalı,
2. Bir rota depodan başlamalı ve tekrar depoda son bulmalı,
3. Rota üzerinde hizmet verilen müşterilerin talepleri toplamı araç kapasitesini geçmemeli.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, *KK_arp* için çok sayıda kesin algoritma (*exact algorithm*) geliştirildiği görülmektedir [Achuthan ve ark., 2003; Araque ve ark., 1994; Augerat ve ark., 1998; Lysgaard ve ark., 2004; Ralphs, 2003]. *KK_arp* temelde Gezgin Satıcı Problemine (GSP) dayandığı için NP-zor kategorisinde bir problemidir. Yani problemin çözüm süresi, problem büyüklüğü ile üssel olarak artmaktadır. Bu nedenle, *KK_arp* için Tabu Arama [Barbarosoglu ve Ozgur, 1999; Gendreau ve ark., 1994; Osman, 1993; Rego ve Roucairol, 1996; Rochat ve Taillard, 1995; Taillard, R. E., 1993], Tavlama Benzetimi [Hiquebran ve ark., 1994; Osman, 1993], Karınca Kolonileri Optimizasyonu [Bullnheimer ve ark., 1999; Gambardella ve ark., 1999], Genetik Algoritma [Blanton ve Wainwright, 1993; Potvin ve Bengio, 1996; Schmitt, 1994; Thangiah, S. R., 1995a, 1995b; Thangiah, S. R. ve Gubbi, 1993; Thangiah, S. R. ve ark., 1991; Thangiah, S.R. ve ark., 1993] gibi meta-sezgisel yöntemler geliştirilmiştir.

2.2. Topla Dağıt Kısıtlı Araç Rotalama Problemi

Tesislerden müşterilere yapılacak taşıma işlemleri ile birlikte müşterilerden tesislere toplama işlemlerinin de eş zamanlı (aynı araçlarla) gerçekleştirildiği problemler olarak tanımlanan Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi (TD_arp) uzun yıllardır üzerinde çeşitli çalışmaların yapıldığı bir problem türü olmuştur. Pratikte birçok örneği bulunan TD_arp'de KK_arp'den farklı olarak tesislerden müşterilere taşımacılığın yanı sıra müşterilerden tesislere taşımacılık da söz konusudur. Sağlık sisteminde, kanların merkezlerden hastanelere dağıtımı esnasında toplama kamplarından merkeze yeni kanların getirilmesi; otomotiv sektöründe, yedek parçaların bölge bayilerine dağıtımı esnasında kullanılmış parçaların geri dönüşüm için fabrikalara geri gönderilmesi bu tür problemlere örnek olarak verilebilir.

TD_arp için kabul edilen varsayıma göre müşterilerden toplanan ürünlerin doğrudan diğer bir müşteriye taşınması söz konusu değildir. Yani bütün talepler ya depodan müşteriye ulaştırılmakta ya da müşteriden depoya taşınmaktadır [Salhi ve Nagy, 2005]. Bu varsayımlar ışığında TD_arp'nin üç farklı tipi bulunmaktadır. Bunlar;

- *Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi (ÖDST_arp)*: Bu problemlerde müşteriler toplama ve dağıtım müşterileri olmak üzere iki guruba ayrılmıştır ve bir rota üzerinde dağıtım müşterilerine toplama müşterilerinden önce hizmet verilmektedir. Bu tür bir varsayım genelde, araç içerisinde dağıtılacak ürünler ile toplanan ürünlerin tekrar yerleştirilmesinin mümkün olmadığı durumlar için söz konusudur. Yani araç dağıtım müşterilerinin talepleri ile yüklenip, bütün ürünler dağıtılıp araç boşaldıktan sonra toplama müşterilerine hizmet verilmektedir. Ana depolardan marketlere sebze-meyve dağıtımından sonra üreticilerden yeni ürünlerin depoya taşınması [Ropke ve Pisinger, 2006] bu problem tipine örnek olarak verilebilir.
- *Karma Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi (KTD_arp)*: ÖDST_arp'de müşteri öncelikleriyle ilgili yapılan varsayımın ortadan kaldırılması ile elde edilen problem tipidir. Yani bir rota üzerinde toplama ve dağıtım müşterilerine karışık

sırada hizmet verilebilmektedir. Araç içerisinde yeniden yüklemenin mümkün olduğu durum için geçerli bir problem tipidir. Hizmet sektöründe, depodan müşterilere kargolar dağıtılırken diğer müşterilerden depoya geri getirilmek üzere kargoların toplanması; sağlık sektöründe, kanların merkezlerden hastanelere dağıtımı esnasında toplama kamplarından merkeze yeni kanların getirilmesi bu problem tipine örnek olarak verilebilir.

- *Eşzamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi (ETD_ARDP)*: ÖDST_ARDP ve KTD_ARDP’de müşteriler ya toplama ya da dağıtım müşterisi olabilmektedir. ETD_ARDP’de ise bir müşteri aynı anda hem toplama hem de dağıtım müşterisi olabilmektedir. Böyle bir durumda araç müşteriye hizmet için geldiğinde önce verilecek ürünü bırakmakta sonra toplanacak ürünü almaktadır. Gıda sektöründe, marketlere içeceklerin dağıtıldıktan sonra aynı marketten boş şişelerin geri dönüşüm amaçlı toplanması [Ropke ve Pisinger, 2006]; otomotiv sektöründe, yedek parçaların bölge bayilerine dağıtımı esnasında kullanılmış parçaların geri dönüşüm için fabrikalara geri gönderilmesi bu problem tipine örnek olarak verilebilir.

TD_ARDP temelde ARP’ye dayandığı için NP-zor kategorisinde bir problemidir. Dolayısıyla geliştirilen algoritmalar genelde sezgisel yöntemlere dayanmaktadır. TD_ARDP için yapılan çalışmalar incelendiğinde, genelde ya TD_ARDP tipleri tek başlarına incelenmiş ya da yapılarının birbirine çok benzemesinden dolayı KTD_ARDP ve ETD_ARDP beraber incelenmiştir (KTD_ARDP müşterinin toplama ya da dağıtım taleplerinden birisinin ‘0’ olduğu ETD_ARDP olarak dikkate alınabilir). Bunlar içerisinde en çok çalışma yapılan tipi ÖDST_ARDP olmuştur. Çalışmaların bir kısmı, temelde KK_ARDP için geliştirilmiş olan kazanç algoritmasının [Clarke ve Wright, 1964] ÖDST_ARDP’ye adapte etmesine dayanmaktadır [Casco ve ark., 1988; Deif ve Bodin, 1984; Goetschalckx ve Jacobs-Blecha, 1989, 1993]. Bunun yanı sıra, ÖDST_ARDP için kesin algoritmalarda geliştirilmiştir [Mingozzi ve ark., 1999; Toth ve Vigo, 1997; Yano ve ark., 1987].

KTD_ARDP ve ETD_ARDP için yapılan çalışmaların sayısı ÖDST_ARDP’a nazaran oldukça sınırlıdır ve çalışmaların büyük bir kısmında sezgisel [Anily ve Mosheiov,

1994; Golden, B. L. ve ark., 1985; Mosheiov, 1994; Salhi ve Nagy, 2005] ve meta-sezgisel yöntemlere [Chen ve Wu, 2006; Crispim ve Brandão, 2005; Dethloff, 2001; Ganesh, K. ve Narendran, T., 2007; Ganesh, K. ve Narendran, T. T., 2007; Montane ve Galvao, 2006] yoğunlaşmıştır. Literatürde TD_ARP için kapsamlı literatür araştırmaları da mevcuttur [Berbeglia ve ark., 2007; Parragh ve ark., 2008].

2.3. Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi

ARP'nin pratikte sıklıkla karşılaşılan ve üzerinde çeşitli çalışmaların yapıldığı bir diğer tipi ise Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemidir (MK_ARP). Bu problemde KK_ARP'den farklı olarak hiçbir rotanın daha önceden belirlenmiş bir mesafeden fazla olmasına izin verilmemektedir. Bozulabilir ürün lojistiği (hazır gıda vb.) ve kargo sektöründe (bazı durumlarda kargo şirketi belirli bir süre içerisinde ürünleri taşımayı taahhüt etmektedir) sıklıkla karşılaşılan bu problem de diğer araç rotalama problemleri gibi NP-Zor sınıfında problemlerdendir. ARP'nin diğer tiplerine nazaran daha az çalışmanın yapıldığı bu problem tipi için matematiksel modeller [Desrochers ve Laporte, 1991; Kulkarni ve Bhave, 1985], kesin algoritma [Laporte ve ark., 1984] ve literatür taraması [Laporte, 1992] makaleleri mevcuttur.

2.4. Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi

ARP'nin bir diğer tipi olan Zaman Pencereci Araç Rotalama Probleminde ise (ZP_ARP) her müşteriye ait bir zaman aralığı (a_i, b_i) bulunmakta ve araç müşterilere bu zaman aralığında uğramak zorundadırlar. Zaman penceresinde a_i servise en erken başlama zamanını, b_i servise en geç başlama zamanını ifade etmektedir ve müşteriye en erken başlama zamanından önce gelen araç verilen zaman penceresine kadar beklerken, en geç başlama zamanından sonra araç girişine izin verilmemektedir. ZP_ARP uzun yıllardır üzerinde çalışılan bir problem türü olmuştur. Bu konuda Golden ve Assad [Golden, B.L. ve Assad, 1986, 1988], Desrochers ve ark. [Desrochers ve ark., 1988], Solomon ve Desrosiers [Solomon ve Desrosiers, 1988], Cordeau ve ark. [Cordeau ve ark., 2001], Bräysy ve Gendreau [Bräysy ve Gendreau,

2005a, 2005b] tarafından yapılmış kapsamlı literatür araştırması makaleleri bulunmaktadır. Bu tez kapsamında ele alınan 2HZIP_ARP, temelde ZP_ARP'ye dayandığı için 2HZIP_ARP'nin tanımının yapıldığı bir sonraki bölümde ZP_ARP ile ilgili detaylı bir literatür araştırması sunulacaktır.

2.5. Hat Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi

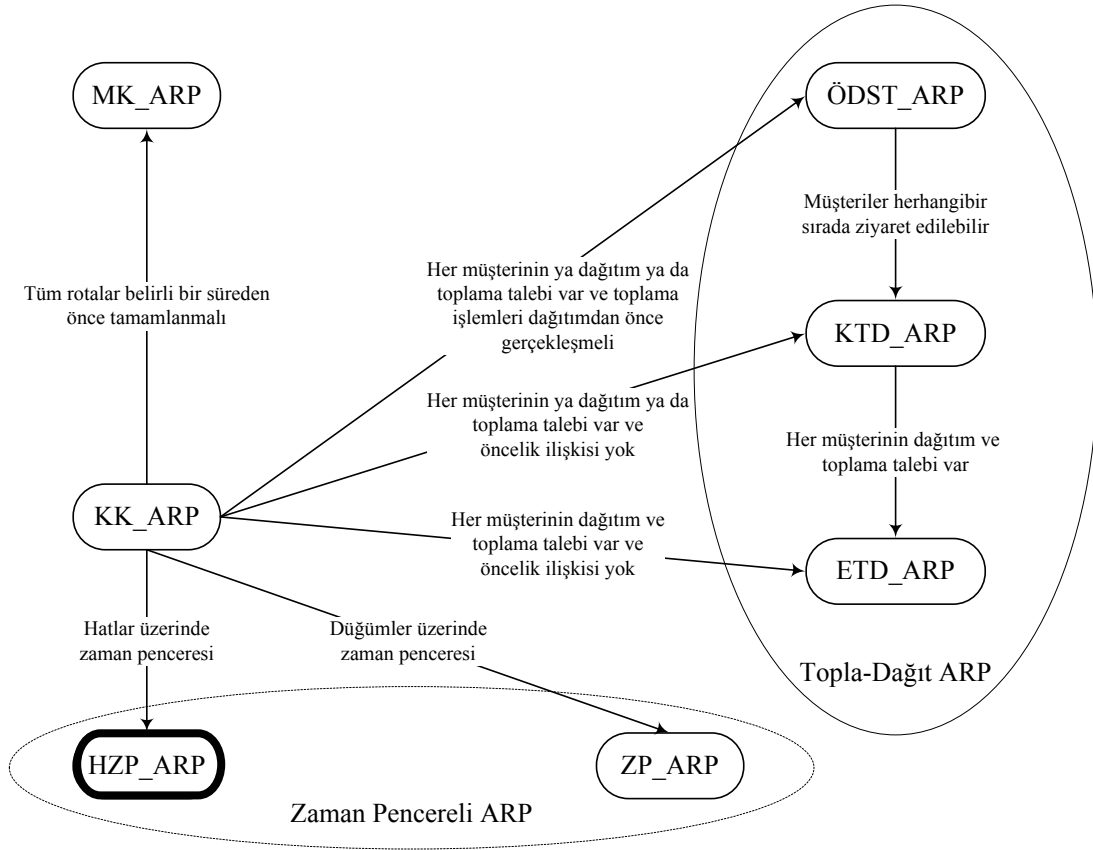
Hat Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi (HZIP_ARP) temelde ZP_ARP ile benzerlik göstermektedir. Ancak günümüzün önemli kavramlarından birisi olan “terör” nedeniyle alınan güvenlik tedbirlerden dolayı yolların kısıtlı kullanımı bu iki problemi birbirinden ayırmaktadır. Bunun en iyi örneği askeri sistemlerde karşımıza çıkmaktadır. Terör nedeniyle doğu bölgelerine yapılan sevkiyatlarda “emniyetli gün” uygulaması söz konusudur. Bu uygulamaya göre, bazı yollar emniyet açısından günün sadece belirli zaman aralıklarında (örneğin gündüz saatlerinde) araç sevkiyatı için uygundur.

Yapılan literatür taraması sonucunda ARP'de zaman penceresinin düğümler yerine hatlar üzerinde tanımlandığı bu problem ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle, bu tez kapsamında ARP'nin değişik bir tipi olan HZIP_ARP ve bu problemin genel bir hali olan iki aşamalı HZIP_ARP (2HZIP_ARP) üzerinde yoğunlaşmıştır.

2.6. Araç Rotalama Problemleri Arasındaki İlişkiler

Yukarıdaki tanımlamalar ışığında ARP ve bu problemin değişik tipleri arasındaki ilişki şekil 2.2 de sunulmaktadır. $A \rightarrow B$ işareti B probleminin A probleminin daha genel bir hali olduğu anlamına gelmektedir. Yani B problemi için geliştirilen bir çözüm yöntemi doğrudan ya da küçük değişiklikler ile A probleminin çözümü için kullanılabilir. Örneğin, KTD_ARP'de her müşterinin ya dağıtım ya da toplama talebi vardır ve müşteriler herhangi bir sırada ziyaret edilebilir. ETD_ARP'de ise KTD_ARP'den farklı olarak her müşterinin hem dağıtım hem de toplama talebi vardır ve araç müşteriye ziyaret ettiğinde dağıtım talebini müşteriye bırakıp toplama

talebini depoya geri getirmek üzere araca yüklemektedir. Dolayısıyla KTD_arp'yi müşterilerinin dağıtım ya da toplama taleplerinden birisinin “sıfır” olduğu ETD_arp olarak düşünülebilir. Dolayısıyla ETD_arp için geliştirilen bir çözüm yöntemi doğrudan KTD_arp için de kullanılabilir.



A $\longrightarrow$ B: B probleminin, A probleminin daha genel bir hali olduğunu gösterir.

Şekil 2.2. ARP ve ARP'nin değişik tipleri arasındaki ilişkiler

3. İKİ AŞAMALI HAT ZAMAN PENCERELİ ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

ZP_ARP'nin değişik bir tipi olarak kabul edebileceğimiz 2HZIP_ARP ilk defa bu tezde ele alınmıştır. Bu problem klasik ZP_ARP'den iki noktada farklılık göstermektedir. Bunlar;

1. Zaman pencereleri şebeke üzerinde düğümler yerine hatlar için tanımlanmaktadır.
2. Taşımacılık iki aşamada gerçekleştirilmektedir (ana merkezden il merkezlerine tırlar ile rota üzerinde, il merkezlerinden ilçe merkezleri ve sınır birliklerine daha küçük boyutlu kamyon/kamyonetler ile rota üzerinde taşımacılık).

Problemin her iki aşamasında da rotalama söz konusu olduğu için 2HZIP_ARP, bir önceki bölümde tanımlanan tek aşamalı HZIP_ARP'nin daha genel bir halidir. Dolayısıyla, 2HZIP_ARP için geliştirilecek bir çözüm yöntemi doğrudan ya da küçük değişiklikler ile tek aşamalı HZIP_ARP için kullanılabilir. Bu nedenle, bu bölümde 2HZIP_ARP'nin tanımlanarak literatürde bu probleme benzerlik gösteren ZP_ARP için yapılmış çalışmalar incelenmiştir.

3.1. Problem Tanımı

2HZIP_ARP en genel hali ile şu şekilde tanımlanabilir. $G(N,A)$ tam bağlı (bütün düğümler arasında doğrudan bir ayrıtın mevcut olduğu durum) bir serim olsun. $N = I \cup J \cup K$ düğüm kümesi, A ise bu düğümler arasında tanımlanan ayrıtın kümesidir $(A = \{(i, j) | i \neq j \text{ ve } i, j \in N\})$. Düğüm kümesinde I ana depo, J ara depo (il merkezleri), K ise müşterileri (ilçe merkezleri ve sınır birlikleri) temsil etmektedir. Her müşterinin hangi ara depodan hizmet alacağı belirlidir ve ara depolara hangi müşterilerin bağlı olduğu K_j ile temsil edilmektedir (örneğin, Şırnak iline bağlı ilçe merkezleri ve sınır birlikleri Şırnak İl Jandarma Komutanlığından hizmet almaktadırlar). Bu serimde, t_{ij} ise i düğümünden j düğüme geçiş süresini, c_{ij} ise (i,j) ayrıtının maliyetini temsil etmektedir. Ana depo ve ara depolar kendisine bağlı müşterilerin talebini karşılayacak seviyede kapasiteye sahiptir. Her müşterinin sabit

ve bilinen bir talebi (d_i) vardır. Taşımayı gerçekleştirecek araçlar hazır olarak beklemekte, her bir araç için özdeş bir kapasite (ana depo ile ara depo arasında taşımacılık yapan araçlar için Q_{fd} , ara depo ile müşteriler arasında taşımacılık yapan araçlar için ise Q_{dc}) söz konusudur. Her hat (yol) için hattın kullanılabileceği en erken zaman (a_{ij}) ve en geç zaman (b_{ij}) söz konusudur ve bir araç bu hatta en erken zamandan önce geldiği zaman en erken zamana kadar beklemek ve bu zamandan itibaren yolculuğuna devam etmek zorundadır. En geç zamandan sonra ise hattın kullanılmasına izin verilmemektedir. Ele alınan problem, tanımlanan bu sistemde aşağıdaki kısıtlar altında müşterilere nasıl bir rota üzerinde hizmet verileceğinin en küçük maliyet ile belirlenmesi problemidir. Kısıtlar:

1. Bir hat kullanılacaksa, o hattın uygun olduğu zaman aralıklarında kullanılmalı,
2. Ürünler öncelikle ana depodan ara depolara, ara depolardan da müşterilere taşınmalı ve bir aşamada kullanılan araç diğer aşamada kullanılmamalı,
3. Her müşteriye kesinlikle bir kez uğranmalı,
4. Bir araç sadece bir kez kullanılmalı,
5. Bir rota bir depodan başlamalı ve tekrar aynı depoda son bulmalı,
6. Rota üzerindeki herhangi bir hat üzerinde taşınan yük miktarı araç kapasitesini geçmemelidir.

2HZIP_ARP, klasik ARP'nin daha genel bir tipidir. Aşama sayısı teke düşürüldüğünde ve hatlar üzerindeki en erken zaman sıfır, en geç zaman ise sonsuz alındığı takdirde problem klasik ARP'ye dönüşmektedir ki bu problem NP-zor problemler sınıfına girmektedir. Dolayısıyla 2HZIP_ARP de NP-zor problemler sınıfındadır.

Yapılan literatür taraması sonucunda, 2HZIP_ARP ile ilgili literatürde herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle, tezin bu bölümünde, 2HZIP_ARP'a benzerlik gösteren problemlerden olan ZP_ARP ile ilgili yapılmış çalışmalara değinilecektir.

3.2. Zaman Pencerele Araç Rotalama Problemi ile İlgili Kaynak Araştırması

Problemin karmaşıklığından dolayı yapılan çalışmaların küçük bir kısmında kesin çözüm yöntemleri (*exact solution approaches*), büyük bir kısmında ise sezgisel/meta-sezgisel yöntemler (*heuristic/meta-heuristic solution approaches*) üzerinde yoğunlaştığı görülmüştür.

En temel sezgisel yöntemler arasında sayılabilecek olan kurucu sezgiseller (*construction heuristics*) konusundaki çalışmalar ele alındığında ilk olarak Solomon tarafından yapılmış çalışmalar göze çarpmaktadır [Solomon, 1987]. Bu çalışmada geliştirilen sezgisellerden ilki Clark ve Wright [Clarke ve Wright, 1964] tarafından klasik ARP için geliştirilen kazanç algoritmasının (*saving algorithm*) ZP_ARP'a uyarlanması ile elde edilmiştir. Bir diğer yöntemde ise zamana dayalı en yakın komşu “*time-oriented nearest neighbor*” tekniği kullanılmıştır. Bu tekniğe göre depoya en yakın ve rotası olmayan bir müşteri bulunarak rotaya başlanır. Her iterasyonda rotada bulunan müşteriye en yakın olan rotasız başka bir müşteri bulunur ve rotanın sonuna eklenir. Eğer rotada eklenecek uygun bir yer kalmadıysa yeni bir rotaya başlanır. Müşteri taraması tüm müşteriler rotalarına atandığında sona erer. Bu çalışmada geliştirilen son ve en başarılı algorithmada ise depoya en uzak olan veya servis başlama zamanı en erken olan rotasız bir müşteri rotanın başlangıcını oluşturur. Planlama ufku ve kapasite kısıtlarına göre rota doluncaya kadar müşteriler eklenir. Eğer rotası olmayan müşteri kalırsa prosedürler tüm müşterilere hizmet sağlanıncaya kadar tekrarlanır. Bir diğer kurucu sezgisel yöntem ise Balakrishnan tarafından esnek zaman pencerele araç rotalama problemleri için geliştirilmiştir [Balakrishnan, 1993]. Bu yaklaşımların temelinde “en yakın komşu” ve “kazanç algoritması” yatmaktadır. Tek farkları ilk müşteriyi bulma ve bir sonraki müşteriye ilerleme kriterleridir. Esnek zaman pencerele araç rotalama problemlerinde bazı müşterilere kısıtlanmış zaman penceresi özgürlükleri tanımak, toplam araç sayısında veya toplam rota uzunluğunda önemli kazançlar sağlayabilir.

Kurucu sezgiseller, çok kısa sürede iyi çözümler vermesi ve iyileştirici yöntemlere başlangıç çözümü temin etmesinden dolayı önem arz etmektedir. Ancak son yıllarda, hemen hemen bütün problemlerde oldukça iyi sonuçlar veren meta-sezgisel yöntemler üzerinde yoğunlaşıldığı görülmektedir. Garcia ve ark. (1994) zaman pencereci araç rotalama problemlerine tabu arama yöntemini ilk kez uygulayan araştırmacılar [Garcia ve ark., 1994]. Geliştirilen sezgiselde Solomon'un [Solomon, 1987] yerleştirme sezgiseli ile başlangıç çözümü elde edilmiş ve 2-opt/Or-opt komşu arama mekanizmaları ile çözüm iyileştirilmeye çalışılmıştır. Diğer taraftan bazı araştırmacılar zaman penceresinin arama uzayında yaptığı kısıtlamaları aşmak için arama sırasında uygun olmayan çözümlere de imkân vermektedir [Brandão, 1999; Cordeau ve ark., 2001; Lau ve ark., 2003]. Bu ihlaller amaç fonksiyonuna ceza olarak eklenir ve ihlalleri gösteren parametre değerleri dinamik olarak ayarlanır.

Tabu arama tekniğinin kullanıldığı bir diğer çalışmada ise Rochat ve Taillard uyarlamalı hafıza yöntemini kullanmıştır [Rochat ve Taillard, 1995]. Bu yöntemde arama sırasında ziyaret edilen en iyi sonuçlardan alınan rotaların oluşturduğu bir havuz yardımıyla tabu arama algoritmasına yeni başlangıç çözümleri sunmak hedeflenmektedir. Taillard ve ark. daha sonra aynı stratejiyi esnek zaman pencereci araç rotalama problemleri için kullanmıştır [Taillard ve ark., 1997]. Bu problemde müşteri konumlarındaki gecikmelere, amaç fonksiyon değerine eklenen bir ceza maliyeti karşılığında izin verilmektedir. Benzer bir başka çalışmada ise Schulze ve Fehle uyarlamalı hafızaya benzer bir tabu arama sezgiseli kullanmıştır [Schulze ve Fehle, 1999]. Bu çalışmanın diğerlerinden farklılık ise rota havuzundan uygun başlangıç çözümlerinin elde edilmesinde ortaya çıkmaktadır.

Carlton (1995), Chiang ve Russel (1997) tarafından yapılan çalışmalarda ise tabu listesi uzunluğu değişken kabul edilmiştir [Carlton, 1995; Chiang ve Russell, 1997]. Bu çalışmalarda, komşu arama işlemleri esnasında benzer sonuçlara sık rastlandığında tabu listesinin uzunluğu arttırılmakta, az rastlandığında ise kısaltılmaktadır.

Thangiah ve ark. ise ZP_ARP için genetik algoritma yöntemini uygulayan ilk araştırmacılarıdır [Thangiah ve ark., 1991]. Bu çalışmayı takiben birçok makalede de genetik algoritmaların ZP_ARP için başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [Berger ve ark., 2003; Berger ve ark., 1998; Gehring ve Homberger, 1999, 2001; Homberger ve Gehring, 1999, 2005; Jung ve Moon, 2002; Le Bouthillier ve Crainic, 2005; Liu ve Shen, 1999; Mester, 2002; Potvin ve Bengio, 1996; Wee Kit ve ark., 2001].

Yapay sinir ağları yöntemi de ZP_ARP için uygulanan yöntemler arasındadır. Potvin ve Robillard tarafından yapılan bir çalışmada [Potvin ve Robillard, 1995], Potvin ve Rousseau tarafından geliştirilen [Potvin ve Rousseau, 1993] paralel en ucuz ekleme sezgiseli ile yapay sinir ağlarını eş zamanlı kullanılmıştır. Bu çalışmada, yapay sinir ağları ekleme sezgiseli için kullanılacak kök düğümlerin seçiminde kullanılmıştır.

Tan tarafından yapılan bir çalışmada ise esnek bir tavlama benzetimi yaklaşımı kullanılmıştır [Tan ve ark., 2000]. Bu çalışmada Tangiah ve ark. (1994) tarafından önerilen sezgisel yöntem ile [Thangiah ve ark., 1994] başlangıç çözümleri elde edilmiştir. Klasik tavlama benzetiminden farklı olarak, algoritma son sıcaklığa ulaştığında, sistem o ana kadar en iyi çözüme ve bu çözümün elde edildiği sıcaklığa geri döndürülerek algoritma devam ettirilmiştir.

Bir diğer yaklaşımda ise, Gambardella ve ark. (1999) tarafından ZP_ARP'nin çözümü için karınca kolonisi eniyilemesi kullanılmıştır [Gambardella ve ark., 1999]. Bu algoritmada, birbiri ile rekabet eden iki farklı karınca kolonisi kullanılmıştır. Bunlardan birincisi toplam araç sayısını diğeri ise toplam mesafeyi enküçüklemeye çalışmaktadır. Algoritmanın koşumu esnasında bu iki koloni arasında çözüm alışverişi yapılarak daha iyi çözümlere ulaşmak hedeflenmiştir.

Bu çalışmalara ek olarak, birden fazla komşu arama mekanizmasının dönüşümlü olarak kullanıldığı değişken komşu arama yöntemi de HZ_ARP'nin çözümü için kullanılan yöntemler arasındadır [Bräysy, 2003; Mladenović ve Hansen, 1997]. Ayrıca, birden fazla meta-sezgisel yöntemin etkileşimli bir şekilde kullanılması ile

elde edilen melez yöntemler de ZP_ARP'nin çözümünde sıklıkla başvurulmuş yöntemlerden olmuştur [Bent ve Van Hentenryck, 2004; Caseau ve ark., 1999; Ibaraki ve ark., 2002; Tan ve ark., 2001].

3.3. İki Aşamalı Hat Zaman Pencere Arac Rotalama Problemi İçin Önerilen Matematiksel Model

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde daha önce bu konunun hiçbir araştırmacı tarafından ele alınmadığı görülmektedir. Bu nedenle, ilk olarak problemin çözümü için bir matematiksel model önerilmiştir. 2HZP_ARP için önerilen matematiksel modellerde kullanılan dizin kümeleri ve parametreler ise şu şekildedir.

Dizin Kümeleri ve Parametreler:

- I : ana depo kümesi
- J : ara depo kümesi
- K : müşteri kümesi
- K_j : j deposuna bağlı müşteri kümesi ($\forall j \in J$)
- N : tüm düğümler kümesi ($N = I \cup J \cup K$)
- c_{ij} : i düğümünden j düğüme taşıma maliyeti ($\forall i, j \in N$)
- t_{ij} : i düğümünden j düğüme ulaşım süresi ($\forall i, j \in N$)
- d_k : k müşterisinin talebi ($\forall k \in K$)
- Q_{fd} : ana depo ile ara depo arasında taşımacılık yapan araçların kapasitesi
- Q_{dc} : ara depo ile müşteriler arasında taşımacılık yapan araçların kapasitesi
- a_{ij} : (i, j) hattının kullanılabileceği en erken zaman
- b_{ij} : (i, j) hattının kullanılabileceği en geç zaman
- M : büyük bir sayı

2HZP_ ARP için geliştirilen matematiksel modelde kullanılan karar değişkenleri ise şu şekildedir.

İkili Karar Değişkenleri

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{araç ana depo-ara depo arasında } i \text{ düğümünden } j \text{ düğümüne giderse} \\ & (\forall i, j \in (I \cup J)) \\ 0 & \text{d.d.} \end{cases}$$

$$y_{jkl} = \begin{cases} 1 & \text{araç ara depo-müşteri arasında } k \text{ düğümünden } l \text{ düğümüne giderse} \\ & (\forall j \in J; \forall k, l \in (j \cup K_j)) \\ 0 & \text{d.d.} \end{cases}$$

Ek Karar Değişkenleri

U_j ; ana depo ve ara depolar arasındaki rotalama işlemleri için kullanılan geçici değişken $(\forall j \in J)$

V_k ; ara depo ve müşteriler arasındaki rotalama işlemleri için kullanılan geçici değişken $(\forall k \in K)$

S_k ; aracın k düğümünden çıkış zamanı $(\forall k \in (J \cup K))$

Model

$$\text{Enküçük} \sum_{i \in (I \cup J)} \sum_{j \in (I \cup J)} c_{ij} x_{ij} + \sum_{j \in J} \sum_{k \in (j \cup K_j)} \sum_{l \in (j \cup K_j)} c_{kl} y_{jkl} \quad (3.1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{i \in (I \cup J)} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in J \quad (3.2)$$

$$\sum_{j \in (I \cup J)} x_{ji} = \sum_{j \in (I \cup J)} x_{ij} \quad \forall i \in (I \cup J) \quad (3.3)$$

$$U_j - U_i + Q_{fd} x_{ij} \leq Q_{fd} - D_i \quad \forall i, j \in J; i \neq j \quad (3.4)$$

$$D_i \leq U_i \leq Q_{fd} \quad \forall i \in J \quad (3.5)$$

$$S_j - S_m + Mx_{jm} \leq M - t_{jm} \quad \forall j, m \in J; j \neq m \quad (3.6)$$

$$S_j \geq a_{jm} x_{jm} \quad \forall j \in J; \forall m \in (I \cup J); j \neq m \quad (3.7)$$

$$S_j \leq (b_{jm} - t_{jm}) + M(1 - x_{jm}) \quad \forall j \in J; \forall m \in (I \cup J); j \neq m \quad (3.8)$$

$$S_j \geq (a_{ij} + t_{ij}) x_{ij} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (3.9)$$

$$\sum_{k \in (j \cup K_j)} y_{jkl} = 1 \quad \forall j \in J, \forall l \in K_j \quad (3.10)$$

$$\sum_{k \in (j \cup K_j)} y_{jkl} = \sum_{k \in (j \cup K_j)} y_{jlk} \quad \forall j \in J, \forall l \in (j \cup K_j) \quad (3.11)$$

$$V_l - V_k + Q_{dc} y_{jkl} \leq Q_{dc} - d_k \quad \forall j \in J, \forall k, l \in K_j; k \neq l \quad (3.12)$$

$$d_k \leq V_k \leq Q_{dc} \quad \forall j \in J, \forall k \in K_j \quad (3.13)$$

$$S_k - S_l + My_{jkl} \leq M - t_{kl} \quad \forall j \in J, \forall k, l \in K_j; k \neq l \quad (3.14)$$

$$S_k \geq a_{kl} y_{jkl} \quad \forall j \in J, \forall k \in K_j; \forall l \in (j \cup K_j); k \neq l \quad (3.15)$$

$$S_k \leq (b_{kl} - t_{kl}) + M(1 - y_{jkl}) \quad \forall j \in J, \forall k \in K_j; \forall l \in (j \cup K_j); k \neq l \quad (3.16)$$

$$S_k \geq S_j + (a_{jk} + t_{jk}) y_{jjk} \quad \forall j \in J, \forall k \in K_j \quad (3.17)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in (I \cup J) \quad (3.18)$$

$$y_{jkl} \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J; \forall k, l \in (j \cup K_j) \quad (3.19)$$

$$U_j \geq 0 \quad \forall j \in J \quad (3.20)$$

$$V_k \geq 0 \quad \forall j \in J, \forall k \in K_j \quad (3.21)$$

$$S_j \geq 0 \quad \forall j \in (J \cup K) \quad (3.22)$$

Burada, $D_j = \sum_{k \in K_j} d_j$. Bu modelde amaç fonksiyonu Eş. 3.1 toplam depo kurulum, araç kullanım ve taşıma maliyetini en küçükleme. Eş. 3.2 numaralı kısıt her ara depoya bir kez uğramayı garantilerken, Eş. 3.3 numaralı kısıt her ana depo ve ara depoya giren ve çıkan hat sayısını birbirine eşitlemektedir. Eş. 3.4 ve Eş. 3.5

numaralı kısıtlar ise ana depo ve ara depolar arasında alt turların oluşmasını engellemekte ve rota üzerinde taşınan yük miktarının araç kapasitesinden küçük olmasını sağlamaktadır. Eş. 3.6 numaralı kısıt aracın ara depolardan çıkış zamanlarının rota üzerinde bir önceki düğüme bağlı olarak belirlenmesini sağlamaktadır. Eş. 3.7 ve Eş. 3.8 numaralı kısıtlar ise her bir ara depodan çıkan aracın çıkış zamanının, kullanacağı hattın mümkün olan en erken ve en geç zaman aralıkları arasında olmasını garantilemektedir. Ana depo ile ara depolar arasında rotalama işlemleri için gerekli son kısıt olan Eş. 3.9 numaralı kısıt ise rota üzerinde uğranan ilk ara depodan çıkış zamanını belirlemektedir.

Eş. 3.2-Eş. 3.9 numaralı kısıtlar ana depo ile ara depolar arasında rotalama işlemlerinin gerçekleştirilmektedir. Eş. 3.10-Eş. 3.17 numaralı kısıtlar ise bu kısıtların ara depolar ile müşteriler arasındaki rotalama faaliyetlerine uyarlanması ile elde edilmiştir. Eş. 3.10 numaralı kısıt her müşteriye bir kez uğramayı garantilerken, Eş. 3.11 numaralı kısıt her ara depo ve müşteriye giren ve çıkan hat sayısını birbirine eşitlemektedir. Eş. 3.12 ve Eş. 3.13 numaralı kısıtlar ise ara depo ve müşteriler arasında alt turların oluşmasını engellemekte ve rota üzerinde taşınan yük miktarının araç kapasitesinden küçük olmasını sağlamaktadır. Eş. 3.14 numaralı kısıt aracın müşterilerden çıkış zamanlarının rota üzerinde bir önceki düğüme bağlı olarak belirlenmesini sağlamaktadır. Eş. 3.15 ve Eş. 3.16 numaralı kısıtlar ise her bir müşteriden çıkan aracın çıkış zamanının, kullanacağı hattın mümkün olan en erken ve en geç zaman aralıkları arasında olmasını garantilemektedir. Eş. 3.17 numaralı kısıt ise rota üzerinde uğranan ilk müşteriden çıkış zamanını belirlemektedir. Eş. 3.18– Eş. 3.22 numaralı kısıtlar işaret kısıtları olup x_{ij} ve y_{jkl} karar değişkenlerinin “0” ya da “1” değerini, U_j , V_k ve S_k karar değişkenlerinin ise pozitif değerler almasını sağlamaktadır.

Bu tezin “Deneyisel Çalışmalar” başlıklı bölümünde de görüleceği gibi, 2HZZP_ARP NP-Zor sınıfında bir problem olduğu için önerilen matematiksel model ile sadece küçük boyutlu problemlerde (25 düğümlük test problemleri) en iyi çözümlere ulaşılabilmektedir. Ancak, Türkiye’deki 81 il ve bu illere bağlı ilçe ve sınır birlikleri

dikkate alındığında matematiksel modelin yeterli olmayacağı net bir şekilde görülmektedir. Bu nedenle, bir sonraki bölümde 2HZP_ARP için kısa sürelerde iyi çözümler elde edilebilecek, meta-sezgisel bir yöntem olan genetik algoritma geliştirme yoluna gidilmiştir.

4. GENETİK ALGORİTMA'YA DAYALI GELİŞTİRİLEN SEZGİSEL ALGORİTMA

Genetik Algoritma (GA), biyolojik sistemlerin gelişim sürecini taklit ederek ilgilenilen probleme çözüm arayan bir meta-sezgiseldir. GA'nın ilk aşamasında, tüm mümkün çözümlerin alt kümesinden oluşan bir başlangıç yığını elde edilir. Yığının her elemanı (bireyi) bir dizi olarak kodlanır. Her dizi biyolojik olarak bir kromozoma eşdeğerdir. GA'nın herhangi bir adımındaki yığın nesil (*generation*) olarak adlandırılır. Yığındaki her dizi bir uygunluk değerine (*fitness value*) sahiptir. Uygunluk değeri, hangi bireyin bir sonraki yığına taşınacağını belirler. Bir dizinin uygunluk değeri, problemin amaç fonksiyonu değerine dayalı olarak hesaplanır. GA'nın her iterasyonunda yeniden üretim işlemi, genetik operatörler ve uygunluk değerinin hesaplanması olmak üzere üç ana adım vardır [Goldberg, 1989]. Yeniden üretim işlemi, mevcut yığından gelecek yığına taşınacak dizilerin seçilmesi işlemidir. Taşınan diziler, genetik olarak mevcut yığında en uygun yapıya sahip dizilerdir. Bu işlem ile özel genetik yapıların bir sonraki yığına taşınması sağlanır. Genetik operatörler, seçim işlemi ile oluşturulan yığındaki dizilerin bir kısmına uygulanan çaprazlama ve mutasyon operatörleridir. Bu operatörler, genetik bilgileri kullanarak yeni yığının yeni dizilerini (mümkün yeni çözümleri) elde ederler. Çaprazlama operatörü, farklı diziler arasında bilgi değişimini sağlayarak yeni çözümleri elde ederken mutasyon operatörü, mevcut dizilerin bir kısmında rassal değişimi sağlayarak çözüm uzayında yeni noktaları elde etmektedir. Uygunluk değeri, yeni yığına taşınacak dizilerin belirlenmesinde kullanılan bir araçtır. Bu nedenle, algoritmanın her iterasyonunda yığındaki dizilerin uygunluk değeri hesaplanır.

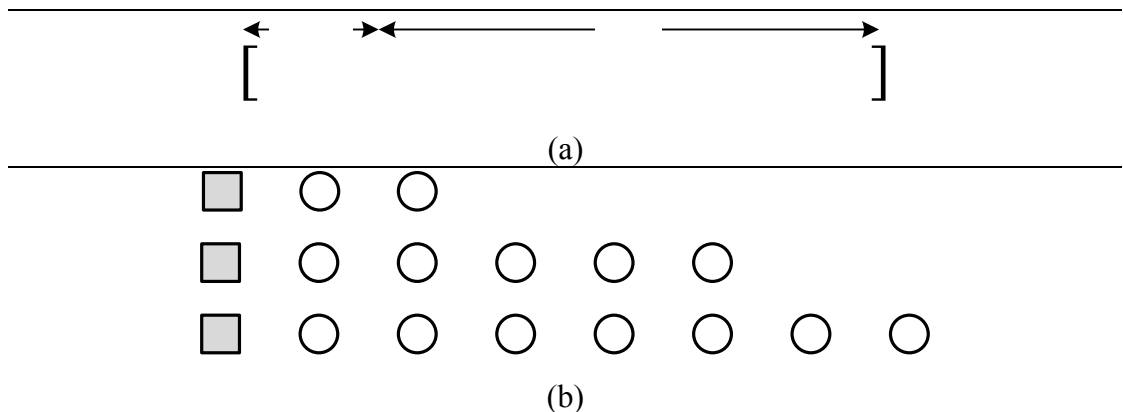
Bu tez kapsamında 2HZIP_2HZIP için GA'ya dayalı bir algoritma geliştirilmiştir. GA'daki çözüm gösterimi, genetik operatörler ve algoritmanın adımları aşağıda detaylı olarak anlatılmaktadır.

4.1. Çözüm Gösterimi

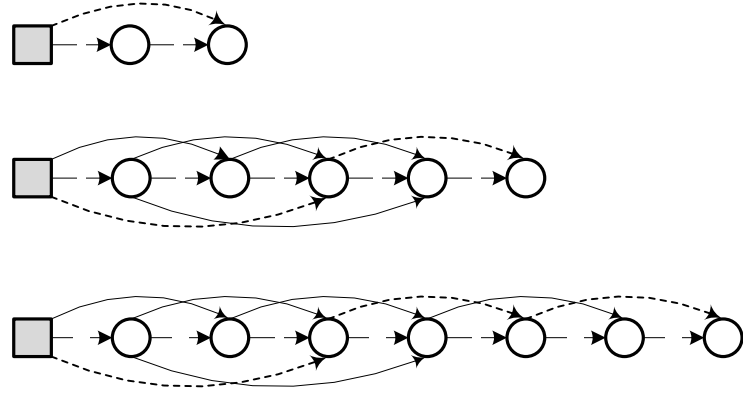
GA'nın performansı çözümleri göstermek amacıyla kullanılan kromozom yapısına ve bu kromozom yapısı için kullanılan genetik operatörlere bağlıdır. Bu nedenle, öncelikle problem için uygun bir kromozom yapısı geliştirilmelidir. ARP için GA'nın kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde, Prins [Prins, 2004] tarafından geliştirilen ve “permütasyon kodlama” olarak adlandırılan kodlama tipi ile oldukça başarılı sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

Bu tez kapsamında, Prins [Prins, 2004] tarafından geliştirilen permütasyon kodlama temel alınarak bir kromozom yapısı önerilmiştir. Bu yapıda, dizinin uzunluğu ara depo ve müşteri sayılarının toplamına eşittir ve her bir elemanı birbirinden farklı tamsayı değerlere sahiptir. Şekil 4.1'de örnek bir kodlama yapısı sunulmaktadır. Bu örnek problemde 0 numaralı düğüm ana depo, 1 ve 2 numaralı düğümler ara depo, 3-14 numaralı düğümler ise müşterileri temsil etmektedir. 3-7 numaralı müşteriler 1 numaralı ara depodan, 8-14 numaralı müşteriler ise 2 numaralı ara depodan hizmet görmektedir. Ayrıca, ana depo ile ara depo arasında kullanılan aracın kapasitesi 200, ara depo ile müşteriler arasında kullanılan aracın kapasitesi ise 40 birimdir.

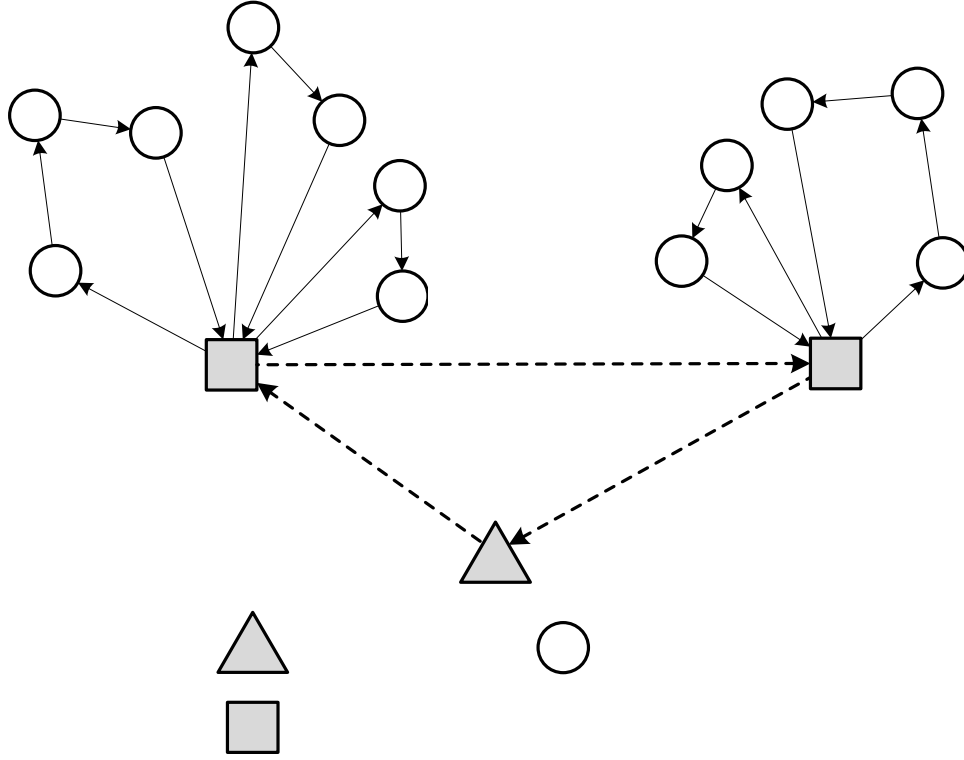
Kromozomdaki rakamlar, düğümlerin birbirine göreli önceliklerini belirlemektedir (Şekil 1a). Bir rakamın küçük olması daha önce rotalanacağını göstermektedir. Örneğin, 5 numaralı müşteri 7 numaralı müşteriden daha önce rotalanacaktır.



Şekil 4.1. Örnek kromozom yapısı



(c)



(d)

Şekil 4.1.(Devam) Örnek kromozom yapısı

0

1

2

Kromozom üzerindeki görelî öncelik değeri de dikkate alınarak önce ara depolar ana depoya, sonra müşteriler ara depolara atanır (Şekil 1b). Bu ayrıştırma işleminden sonra, her bir grup için geçici bir şebeke oluşturulur (Şekil 1c). Bu şebekede, ilk düğüm rotanın başlayacağı ana depo ya da ara depo, diğerleri ise rotalanacak düğümlerdir. Şebekedeki her bir hat ise mümkün bir rotayı temsil etmektedir. Örneğin, Şekil 1c'deki 5-3 hattı bu düğümlerin bağlı olduğu 1 numaralı depodan başlayıp sadece 3 numaralı müşteriye hizmet veren rotayı (1-3-1), 3-4 hattı ise 1 numaralı depodan başlayıp sırasıyla 7 ve 4 numaralı müşterilere hizmet veren rotayı temsil etmektedir. Hatların maliyeti ise temsil ettiği rotanın maliyetine eşittir. Benzer şekilde, bütün mümkün rotalar için bu hatlar oluşturulur. Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer husus ise araç kapasitesi ya da zaman penceresi kısıtlarından dolayı mümkün olmayan hatların geçici şebekede bulunmaması gerekmektedir. Örneğin, 2-14-9-10-2 rotasını temsil edecek olan 8-10 hattı geçici şebeke içerisinde olamaz, çünkü bu müşterilerin talepleri toplamı (70 birim) kullanılan aracın kapasitesinden (40 birim) daha büyüktür. Geçici şebekelerin oluşturulmasından sonra, her bir şebeke için başlangıç düğümünden bitiş düğümüne en kısa yol bulunur ve bu yol üzerinde kullanılan hatların temsil ettiği rotalar ile gerçek çözüm elde edilir (Şekil 1d).

4.2. Genetik Operatörler

Bu tez kapsamında geliştirilen GA, denge durumu (*steady-state*) GA'ya dayalıdır. Denge durumu GA'nın her iterasyonunda mevcut yığından iki kromozom seçilmekte, bu kromozomlara genetik operatörler uygulanarak bir ya da iki yeni kromozom elde edilmektedir. Yeni kromozomlardan rassal seçilen bir kromozom mevcut yığına eklenir ve yığındaki en kötü birey atılır. Böylelikle yeni yığın elde edilmiş olur.

4.2.1. Seçim stratejisi

Seçim stratejisi bir yığından bir sonraki nesle hangi bireylerin aktarılacağını belirlemesi işlemidir. Literatürde en sık kullanılan operatörler rulet çemberi (*roulette wheel*) ve turnuva (*tournament*) seçim mekanizmalarıdır. Yapılan ön denemeler sonucunda turnuva seçim mekanizmasının daha hızlı ve başarılı sonuçlar

ürettiği tespit edilmiş olup, bu tez kapsamında, turnuva seçim mekanizması kullanılmıştır. Bu mekanizmaya göre yığından rassal seçilen iki birey arasından amaç fonksiyonu değeri en iyi olan birinci birey olarak seçilmektedir. Aynı işlem ikinci bireyin seçimi için de gerçekleştirilir ve bu iki birey bir sonraki nesle aktarılır.

4.2.2. Çaprazlama operatörü

Permütasyon kodlamanın kullanıldığı GA'da klasik GA'da kullanılan tek/çok noktalı çaprazlama operatörleri ile uygun olmayan çözümler elde edilebilmektedir. Bu nedenle literatürde özel çaprazlama operatörleri geliştirilmiştir. Kısmi çaprazlama (*partial mapped crossover*, PMX), sıralı çaprazlama (*order crossover*, OX) ve çevrim çaprazlama (*cycle crossover*, CX) bu operatörlere örnek olarak verilebilir. Yapılan ön denemeler sonucunda kısmi çaprazlama operatörünün başarılı sonuçlar ürettiği tespit edilmiştir.

4.2.3. Mutasyon operatörü

Permutasyon kodlamaya dayalı olarak geliştirilen GA'da, çaprazlama operatörü ile elde edilen çocuklara mutasyon operatörü olarak tek bir çözüm üzerinde gerçekleştirilebilecek klasik operatörler kullanılmaktadır. Bu tez kapsamında, yeni üretilen bireylerin daha da iyileştirilmesi amacıyla mutasyon operatörü yerine yerel arama algoritması geliştirilmiştir. Bu algorithmada çaprazlama sonucunda elde edilen bireylerden bir tanesi rassal olarak seçilmekte ve seçilen bu bireye problemdeki düğüm sayısı kadar rassal yer değiştirme (*swap*) işlemi uygulanmaktadır. Yer değiştirme işleminde aynı rota içerisinde rassal seçilen iki düğümün yerleri değiştirilmektedir. Gerçekleştirilen bu yer değiştirme işlemlerinden amaç fonksiyonunu en çok iyileştirilen hareket uygulanarak yeni bir çözüm elde edilmektedir. Bu işlemler belirli sayıda uygulanarak çaprazlama operatörü sonucunda elde edilen çözümden daha iyi çözümler elde edilmeye çalışılmaktadır.

4.3. GA'nın Adımları

Bu tez kapsamında önerilen GA'nın çalışma mekanizması aşağıda kısaca özetlenmektedir. Başlangıç yığını oluşturulduktan sonra, algoritmanın her iterasyonunda tanımlanan seçim mekanizmasına göre iki kromozom seçilir ve kısmi çaprazlama operatörü ile bu kromozomlardan iki yeni kromozom elde edilir. Elde edilen iki yeni bireyden birisi rassal olarak seçilip yerel arama algoritması ile daha da iyileştirilerek yeni birey elde edilir. Daha sonra bu birey mevcut yığına eklenir ve yığından en kötü birey atılır. Böylelikle yeni jenerasyon elde edilmiş olur. Bu işlemler daha önceden belirlenmiş belli bir jenerasyon sayısı kadar devam ettirilir. Şekil 4.2'de GA'nın adımları verilmektedir.

Prosedür: 2HZIP_ARP için GA

Girdi: 2HZIP_ARP için problem girdisi, GA parametreleri

Çıktı: Bulunan iyi çözüm

Adım 0: $t \leftarrow 0$, Başlangıç yığını oluştur $P(t)$.

Adım 1: Başlangıç yığındaki çözümleri değerlendir $P(t)$.

Adım 2: Turnuva seçim mekanizması ile $P1$ ve $P2$ 'yi seç.

Adım 3: OX operatörü ile $P1$ ve $P2$ 'den $C1$ ve $C2$ 'yi elde et.

Adım 4: $C1$ and $C2$ 'den birisini rassal olarak seç (C) ve yer değiştirme operatörünü uygula.

Adım 5: Yeni üretilen bireyi yığına yerleştir ve $P(t)$ 'yi güncelle.

Adım 6: $t \leftarrow t + 1$.

Adım 7: Durdurma koşulu sağlanmadı ise Adım 2'ye git, değilse Adım 8'e git.

Adım 8: Bulunan iyi çözümü raporla.

Şekil 4.2. Önerilen GA'nın adımları

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tezin bu bölümünde, 2HZIP_ARP için önerilen matematiksel model ve GA'nın performansını test etmek amacıyla gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ve sonuçları sunulacaktır. Öncelikle, deneysel çalışmalarda kullanılan test problemlerinin nasıl üretildiği daha sonra da deneysel çalışmaların sonuçlarından bahsedilecektir.

5.1. Test Problemleri

Deneysel çalışmalarda kullanılan test problemleri, literatürde ZP_ARP için Solomon (1987) [Solomon, 1987] tarafından üretilen test problemi kümelerinin 2HZIP_ARP'a uyarlanmasıyla elde edilmiştir. Bu test problemi kümesi, müşteri sayısının 100 olduğu, düğümlerin 100x100'lük grid yüzey üzerinde yerleştirildiği 56 adet test probleminden oluşmaktadır. Bu test problemlerinde düğümler ile ilgili düğüm numarası, X ve Y koordinatları, talebi, düğümün en erken ve en geç hazır olma zamanları ve düğümlerde harcanan süreler bulunmaktadır. Bu problemler R1, C1, RC1, R2, C2, RC2 olarak adlandırılmaktadır ki, R tipi problemlerde müşteriler grid yüzey üzerinde rassal, C tipi problemlerde belli bölgelerde kümelenmiş şekilde, RC tipi problemlerde ise bir kısmı rassal bir kısmı ise kümelenmiş şekilde bulunmaktadır. R1, C1 ve RC1 tipi problemlerde zaman pencereleri dar ve araç kapasiteleri 200 birim; R2, C2 ve RC2 tipi problemlerde ise zaman aralıkları geniş ve araç kapasiteleri sırasıyla 1000, 700 ve 1000 birim olarak alınmıştır. Bu nedenle bir rota üzerinde R1, C1 ve RC1 tipi problemlerde R2, C2 ve RC2 tipi problemlere nazaran daha az müşteri bulunmaktadır.

Test problemlerinin üretilmesi esnasında aşağıdaki adımlar izlenmiştir.

- 2HZIP_ARP NP-zor sınıfında problemlerden olduğu için büyük boyutlu problemlerde en iyi çözümlerin elde edilmesi çok zordur. Bu nedenle, hem geliştirilen matematiksel modelin etkinliğinin belirlenmesi hem de önerilen GA'nın en iyi çözümlere ulaşip ulaşmadığının tespiti amacıyla küçük boyutlu problemler üretilmiştir. Bu nedenle 100 müşterilik test problemlerinin ilk 25 ve ilk

50 düğümü dikkate alınarak yeni test problemleri üretilmiştir. Dolayısıyla deneysel karşılaştırmalar amacıyla her biri 25, 50 ve 100 müşterilik olmak üzere 168 test problemi kullanılmıştır.

- Düğümler arasındaki maliyet ve uzaklıklar Öklit uzaklıkların dört haneli reel sayıya dönüştürülmesi ile elde edilmiştir.
- 2HZIP_ARP iki aşamalı bir problem olduğundan dolayı test problemlerindeki düğümlerin ana depo, ara depo ve müşteri olarak ayrıştırılması gerekmektedir. Bu nedenle, orijinal test problemlerindeki depo düğümü ana depo olarak kabul edilmiştir. Ayrıca, ara depo sayısı 25 düğümlük problemlerde 5; 50 ve 100 düğümlük problemlerde ise 10 olarak kabul edilmiştir ve bu düğümler orijinal problemde bulunan düğümler arasından rassal olarak seçilmiştir. Kalan düğümler ise müşteri düğümleri olarak kabul edilmiş ve kendisine en yakın ara deponun müşterisi olarak atanmıştır.
- Ara depo ile müşteriler arasında taşımacılık yapan araçların kapasitesi orijinal problemdeki araç kapasitesi olarak seçilmişken, ana depo ile ara depo arasında taşımacılık yapan araçların kapasitesi ara depoların taleplerinden (ki bu değer her bir depoya atana müşterilerin talepleri toplamına eşittir) en büyük olanı alınmıştır.
- Solomon'un (1987) [Solomon, 1987] test problemleri temelde ZP_ARP için oluşturulduğu için zaman pencereleri düğüm bazlıdır. Yani orijinal problemdeki zaman pencereleri her bir düğüm için tanımlanmış zaman penceresidir. Bu test problemlerinin 2HZIP_ARP'e uyarlanması amacıyla her bir hattın zaman penceresi alt sınırı, o hattı oluşturan düğümlerin zaman penceresi alt sınırlarının küçük olanı; zaman penceresi üst sınırı, o hattı oluşturan düğümlerin zaman penceresi üst sınırlarının büyük olanı olarak kabul edilmiştir.

5.2. Deneysel karşılaştırmalar

Geliştirilen matematiksel model GAMS ara yüzünde kodlanmış ve matematiksel model çözücüsü olarak CPLEX 10.2 kullanılmıştır. Bütün koşumlarda çözücünün

varsayılan parametre seviyeleri kullanılmıştır. Herbir koşum Intel P4 2.0 Ghz hızında 3 GB ara belleğe sahip, “Windows 7 Professional” işletim sistemi ile çalışan bilgisayarlarda gerçekleştirilmiştir. Bütün koşumlar 1 saat (3600 saniye) ile sınırlandırılmıştır. Önerilen GA ise C++ programlama dili kullanılarak kodlanmıştır. GA’da yığın genişliği 20, jenerasyon sayısı ise düğüm sayısının 50 katı olarak alınmıştır.

Bütün test problemleri hem geliştirilen matematiksel model ile hem de önerilen GA ile çözülmüş ve sonuçlar Çizelge 5.1 - Çizelge 5.6’da sunulmuştur. Bu çizelgelerde ilk iki sütun müşteri sayısı ve ara depo sayısını göstermektedir. Üçüncü sütun problem adını belirtmektedir. Problem adı ise *Tab_c* şeklinde bir sistematige göre kodlanmıştır. Burada, *T*: düğümlerin grid yüzey üzerinde yerleştirilme şeklini (C: müşteriler grid yüzey üzerinde belli noktalarda kümelenmiş; R: müşteriler grid yüzey üzerinde rassal yerleştirilmiş; RC: müşterilerin yarısı kümelenmiş diğer yarısı rassal yerleştirilmiş), *a*: zaman penceresinin sıklığını (1: sıkı; 2: geniş zaman penceresi), *b*: ilgili kombinasyonda üretilen problem numarası, *c*: toplam düğüm sayısını temsil etmektedir. Ayrıca bunlar arasında, en iyi çözümlerin elde edildiği problemler “*” ile işaretlenmiştir. Dördüncü sütunda ise matematiksel modelin bir saat koşumu sonucunda matematiksel model çözücüsü (CPLEX) tarafından elde edilen alt sınır değeri sunulmaktadır. Bu alt sınır değeri, ilgili problem için elde edilebilecek en küçük amaç fonksiyonu değerini göstermektedir. Elde edilen çözümler bu alt sınıra eşit olduğu takdirde ise en iyi çözüm olarak yorumlanmaktadır. Takip eden iki sütunda ise sırasıyla matematiksel modelin bir saatlik koşumu sonucu elde edilen amaç fonksiyonu değeri (AFD) ve çözüm süresi verilmektedir. Son iki sütunda ise önerilen GA’nın beş denemesi sonucunda elde edilen en küçük amaç fonksiyonu değeri ve ortalama çözüm süresi raporlanmaktadır. Ayrıca, bu yöntemlerden hangisi ile daha iyi çözüm elde edildi ise ilgili problem satırı koyulaştırılmıştır. Ayrıca sonuçlar grafiksel olarak Şekil 5.1 - Şekil 5.36’da sunulmuştur. Bu şekillerde her bir problem tipi (R, C ve RC), her bir zaman penceresi tipi (sıkı ve geniş zaman penceresi) için bütün problemlerinin (25, 50 ve 100 düğümlük test problemleri) sırasıyla amaç fonksiyonu değerleri ve çözüm süreleri karşılaştırmaları sunulmaktadır.

Çizelge 5.1. C tipi sıkı zaman pencereli problemler ile ilgili deneysel sonuçlar

K	J	Problem Adı	Alt Sınır	Matematiksel Model		Genetik Algoritma	
				AFD	OÇS	AFD	OÇS
20	5	C101_25*	234,79	234,79	1,32	234,79	3,99
		C102_25*	234,77	234,77	1,75	234,77	2,55
		C103_25*	234,76	234,76	0,76	234,76	3,93
		C104_25*	234,74	234,74	1,24	234,74	2,82
		C105_25*	234,79	234,79	1,48	234,79	3,93
		C106_25*	234,79	234,79	1,33	234,79	3,84
		C107_25*	234,78	234,78	1,57	234,78	4,79
		C108_25*	234,78	234,78	1,26	234,78	2,74
		C109_25*	234,77	234,77	1,70	234,77	3,04
Ortalama		234,77	234,77	1,38	234,77	3,52	
40	10	C101_50	421,50	426,70	3600,00	426,28	11,94
		C102_50*	423,26	423,26	61,58	423,26	11,97
		C103_50*	423,22	423,22	204,96	423,22	12,03
		C104_50*	423,19	423,19	61,69	423,19	9,44
		C105_50	421,51	426,43	3600,00	426,28	10,82
		C106_50	421,17	426,40	3600,00	426,28	13,77
		C107_50	421,06	426,34	3600,00	426,28	12,91
		C108_50*	423,85	423,85	138,22	423,85	12,15
		C109_50*	423,25	423,25	99,27	423,25	13,76
Ortalama		422,45	424,74	1662,86	424,65	12,09	
90	10	C101_100	804,47	944,18	3600,00	964,04	47,79
		C102_100	791,51	942,72	3600,00	962,60	44,27
		C103_100	777,37	959,48	3600,00	960,80	43,57
		C104_100	788,83	941,34	3600,00	960,80	44,55
		C105_100	796,56	944,16	3600,00	963,28	47,80
		C106_100	782,69	963,46	3600,00	963,28	49,73
		C107_100	796,09	962,74	3600,00	960,80	52,54
		C108_100	783,17	957,74	3600,00	960,80	50,03
		C109_100	804,84	973,27	3600,00	960,80	53,13
Ortalama		791,73	954,34	3600,00	961,91	48,16	
Genel Ortalama		482,98	537,95	1754,75	540,45	21,25	

*: en iyi çözümü bulunan problemler

AFD: amaç fonksiyonu değeri

OÇS: ortalama çözüm süresi

Çizelge 5.1-Çizelge 5.3’de sırasıyla C, R ve RC tipi sıkı zaman pencereli test problemleri ile elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Bu çizelgelerden görüleceği gibi düğüm sayısının 25 olduğu bütün test problemlerinde hem önerilen matematiksel model ile hem de geliştirilen GA ile en iyi çözümlere çok kısa sürelerde ulaşılmıştır.

Çizelge 5.2. R tipi sıkı zaman pencereli problemler ile ilgili deneysel sonuçlar

K	J	Problem Adı	Alt Sınır	Matematiksel Model		Genetik Algoritma	
				AFD	OÇS	AFD	OÇS
20	5	R101_25*	485,57	485,57	1,55	485,57	3,24
		R102_25*	485,57	485,57	0,72	485,57	3,02
		R103_25*	485,56	485,56	0,98	485,56	2,83
		R104_25*	485,56	485,56	0,83	485,56	3,40
		R105_25*	485,57	485,57	1,32	485,57	3,28
		R106_25*	485,57	485,57	1,18	485,57	2,60
		R107_25*	485,56	485,56	0,90	485,56	2,45
		R108_25*	485,56	485,56	1,12	485,56	2,79
		R109_25*	485,57	485,57	1,40	485,57	3,25
		R110_25*	485,56	485,56	0,82	485,56	3,29
		R111_25*	485,56	485,56	1,34	485,56	2,21
		R112_25*	485,56	485,56	1,07	485,56	2,64
Ortalama		485,56	485,56	1,10	485,56	2,92	
40	10	R101_50*	830,15	830,15	1052,24	830,15	9,86
		R102_50*	825,04	825,04	88,92	825,04	9,71
		R103_50*	825,04	825,04	125,45	825,04	11,08
		R104_50*	825,04	825,04	64,18	825,04	12,08
		R105_50*	825,05	825,05	108,01	825,05	11,31
		R106_50*	825,04	825,04	38,12	825,04	11,55
		R107_50*	825,04	825,04	163,63	825,04	10,00
		R108_50*	825,04	825,04	104,54	825,04	10,34
		R109_50*	825,04	825,04	69,34	825,04	10,66
		R110_50*	825,04	825,04	104,60	825,04	11,43
		R111_50*	825,04	825,04	66,94	825,04	12,72
		R112_50*	825,04	825,04	81,18	825,04	11,48
Ortalama		825,47	825,47	172,26	825,47	11,02	
90	10	R101_100	983,89	1060,38	3600,00	1109,17	45,84
		R102_100	994,77	1030,86	3600,00	1067,09	46,57
		R103_100	1000,29	1033,20	3600,00	1063,97	43,36
		R104_100	1001,80	1028,48	3600,00	1063,97	48,21
		R105_100	998,63	1030,94	3600,00	1076,54	50,42
		R106_100	997,48	1030,12	3600,00	1063,97	49,78
		R107_100	994,13	1030,11	3600,00	1063,97	46,07
		R108_100	1000,87	1028,48	3600,00	1063,97	53,85
		R109_100	995,46	1028,49	3600,00	1063,97	47,81
		R110_100	995,44	1028,48	3600,00	1065,90	49,12
		R111_100	993,80	1029,48	3600,00	1064,73	47,47
		R112_100	990,27	1036,58	3600,00	1064,97	49,34
Ortalama		995,57	1032,97	3600,00	1069,35	48,15	
Genel Ortalama		768,87	781,33	1257,79	793,46	20,70	

*: en iyi çözümü bulunan problemler

AFD: amaç fonksiyonu değeri

OÇS: ortalama çözüm süresi

Çizelge 5.3. RC tipi dar zaman pencereli problemler ile ilgili deneysel sonuçlar

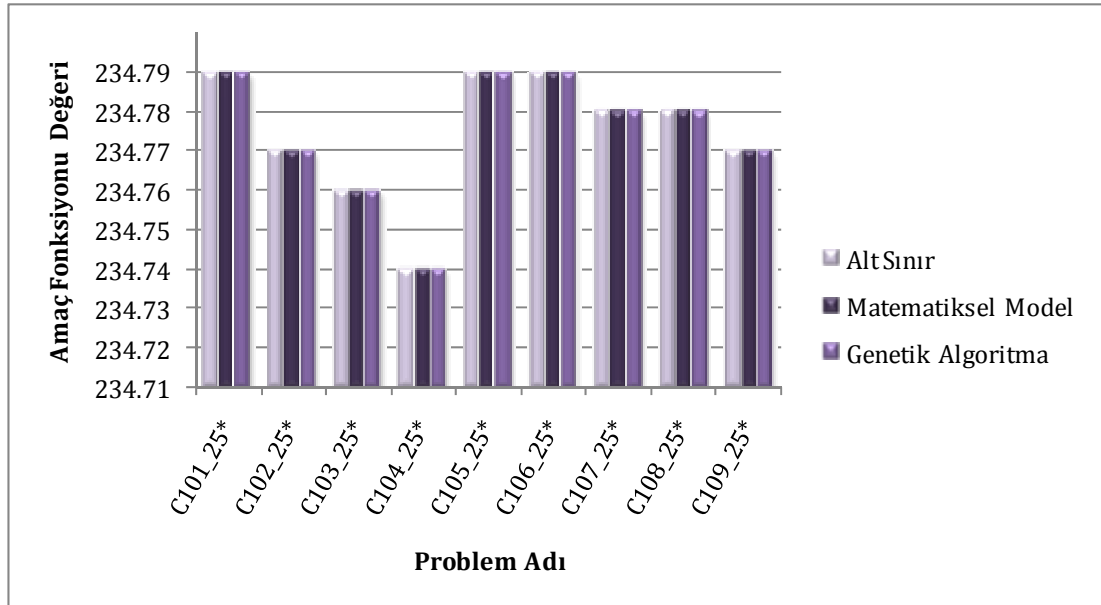
K	J	Problem Adı	Alt Sınır	Matematiksel Model		Genetik Algoritma	
				AFD	OÇS	AFD	OÇS
20	5	RC101_25*	367,41	367,41	0,39	367,41	3,31
		RC102_25*	367,41	367,41	1,29	367,41	2,99
		RC103_25*	367,40	367,40	0,45	367,40	3,29
		RC104_25*	367,40	367,40	0,36	367,40	2,93
		RC105_25*	367,41	367,41	1,31	367,41	3,29
		RC106_25*	367,41	367,41	1,27	367,41	3,01
		RC107_25*	367,40	367,40	0,44	367,40	3,14
		RC108_25*	367,40	367,40	0,40	367,40	2,92
		Ortalama		367,41	367,41	0,74	367,41
40	10	RC101_50	640,79	662,45	3600,00	661,26	12,97
		RC102_50*	661,29	661,29	838,53	661,29	12,92
		RC103_50*	661,28	661,28	1329,58	661,28	12,88
		RC104_50*	661,28	661,28	1705,40	661,28	11,60
		RC105_50*	661,29	661,29	1259,50	661,29	12,64
		RC106_50*	661,29	661,29	1894,22	661,29	13,06
		RC107_50	627,09	662,44	3600,00	661,26	12,33
		RC108_50*	661,28	661,28	2439,95	661,28	12,70
		Ortalama		654,45	661,58	2083,40	661,28
90	10	RC101_100	1073,58	1234,24	3600,00	1253,18	46,78
		RC102_100	1076,44	1225,61	3600,00	1248,87	50,07
		RC103_100	1078,01	1219,68	3600,00	1248,87	50,62
		RC104_100	1061,64	1191,93	3600,00	1248,87	47,85
		RC105_100	1064,25	1213,07	3600,00	1248,87	54,82
		RC106_100	1070,10	1191,95	3600,00	1252,72	48,00
		RC107_100	1081,26	1213,24	3600,00	1252,72	46,16
		RC108_100	1073,23	1191,93	3600,00	1253,18	50,37
		Ortalama		1072,31	1210,21	3600,00	1250,91
Genel Ortalama		698,06	746,40	1894,71	759,86	21,69	

*: en iyi çözümü bulunan problemler

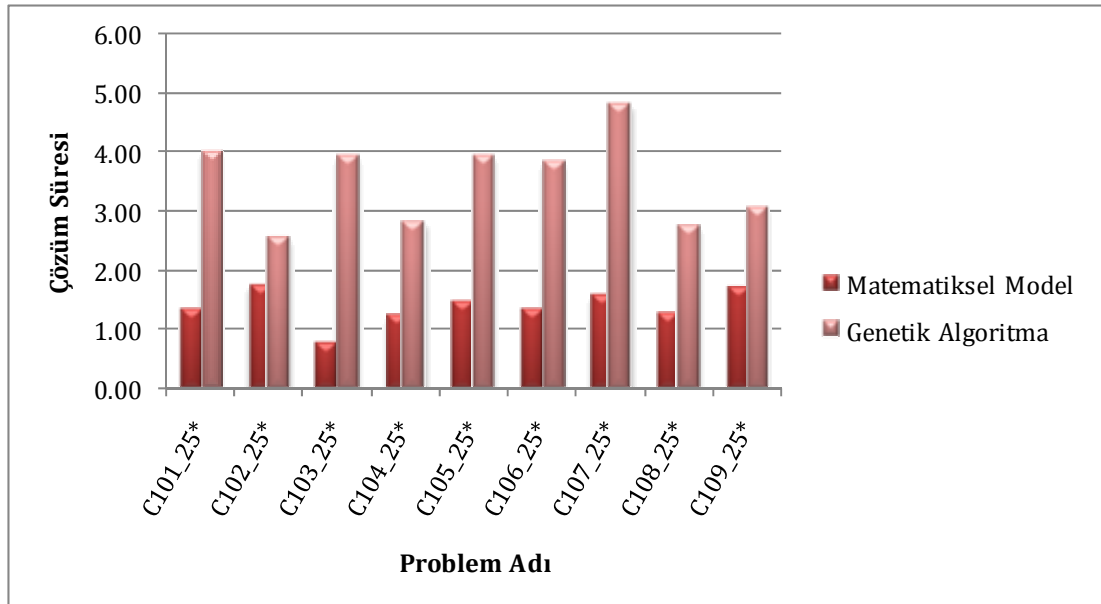
AFD: amaç fonksiyonu değeri

OÇS: ortalama çözüm süresi

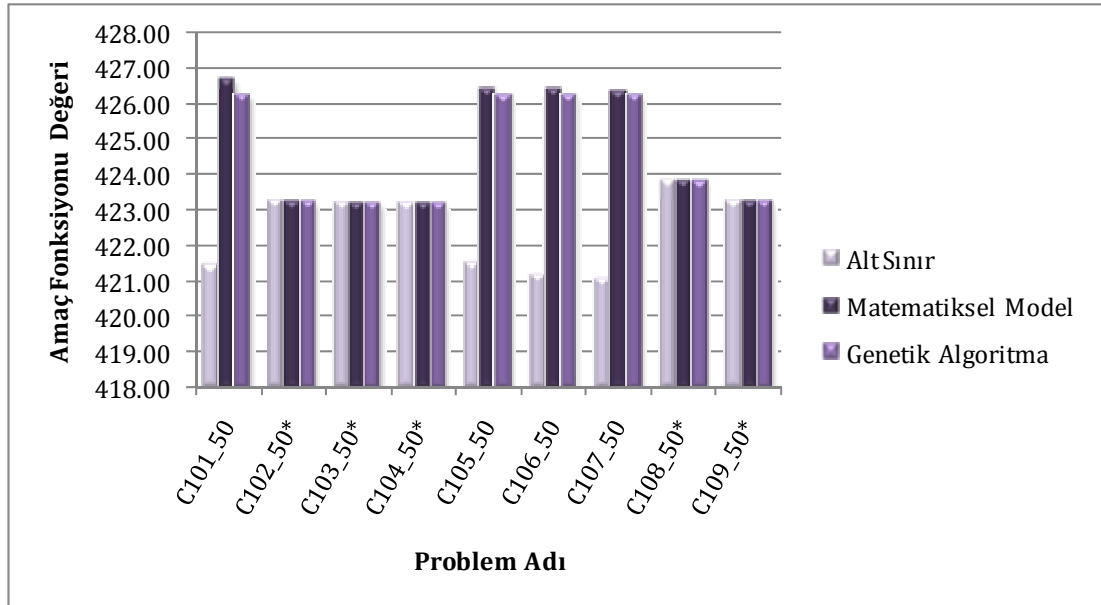
100 düğümlük test problemlerinde ise önerilen matematiksel model ile hiçbir problemde en iyi çözüme ulaşılamamıştır. Önerilen GA ise matematiksel modele nazaran oldukça kısa sürelerde (C, R ve RC tipi problemler için sırasıyla 48,16; 48,15 ve 49,33 sn.) oldukça iyi çözümlere ulaşmıştır. C tipi problemlerde bazı problemlerde ise (C106_100, C107_100 ve C109_100) matematiksel modelden daha iyi çözümlere ulaşılmıştır.



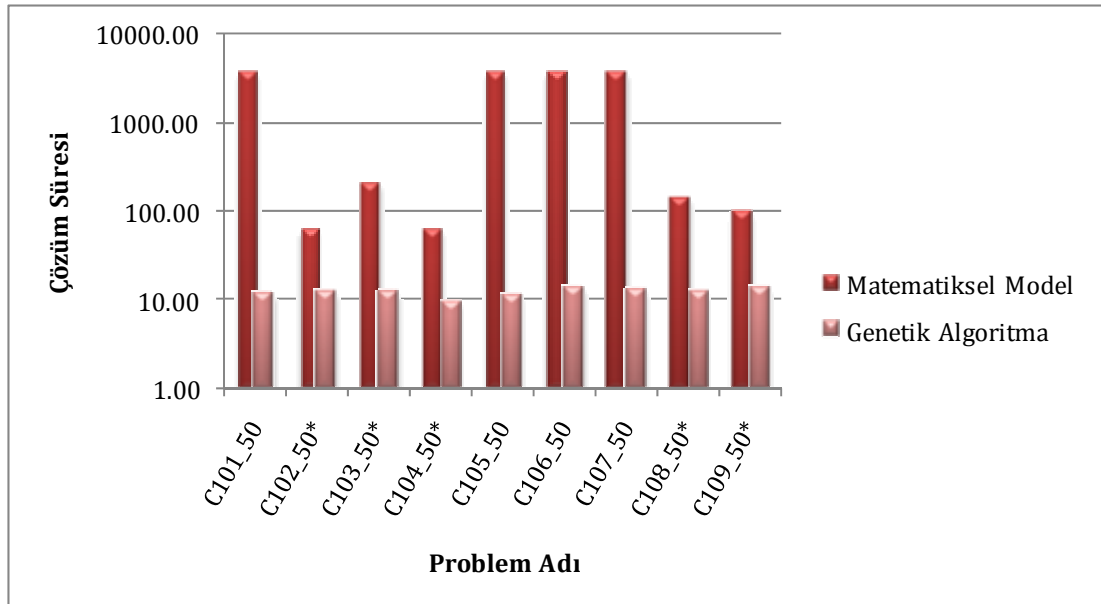
Şekil 5.1. C tipi 25 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları



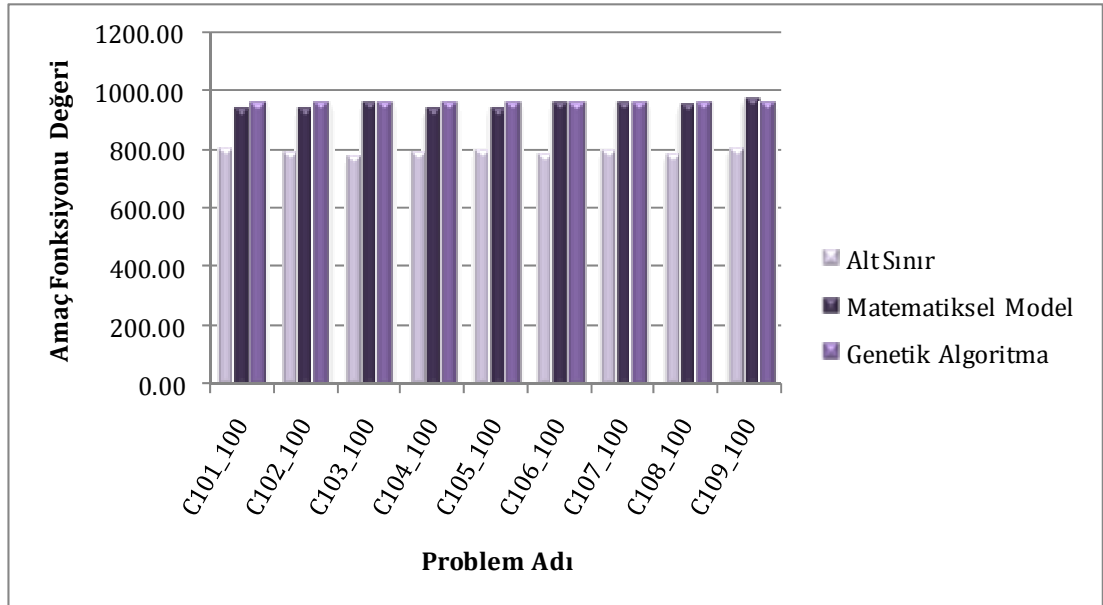
Şekil 5.2. C tipi 25 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri



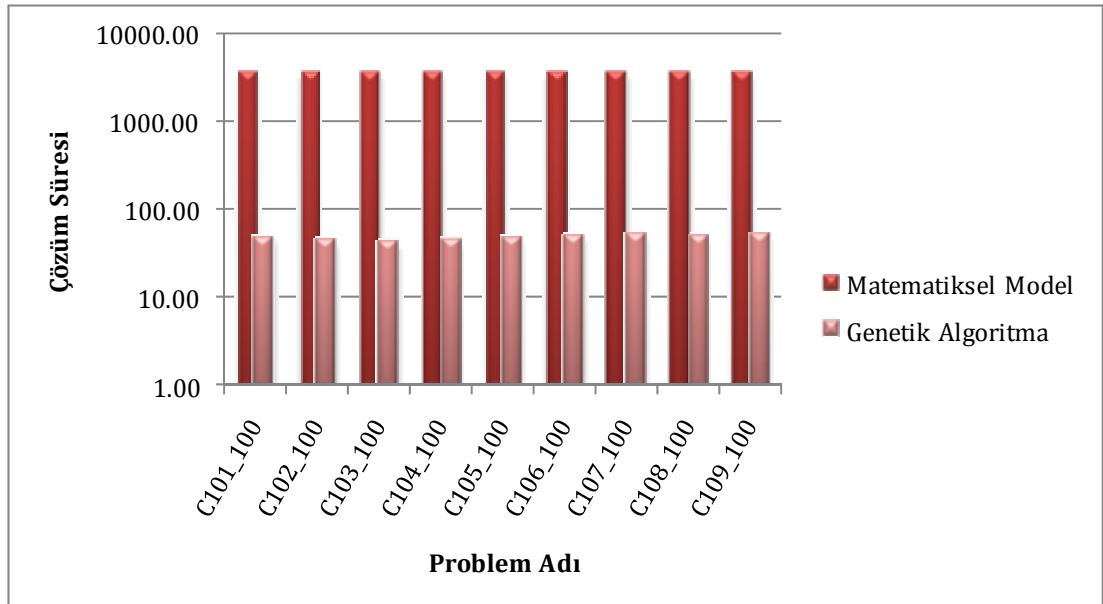
Şekil 5.3. C tipi 50 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları



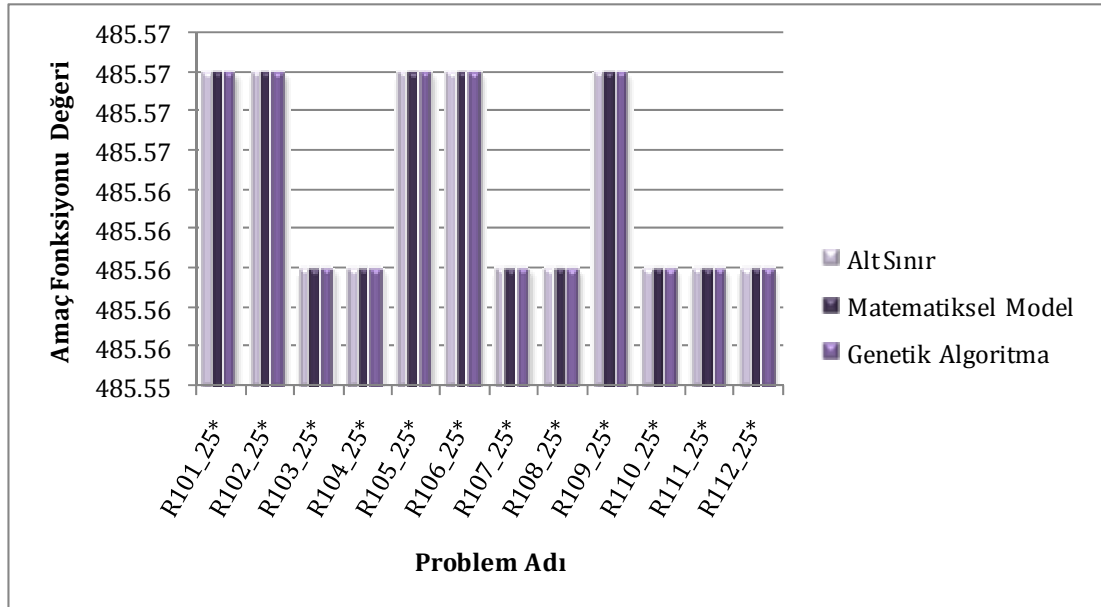
Şekil 5.4. C tipi 50 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri



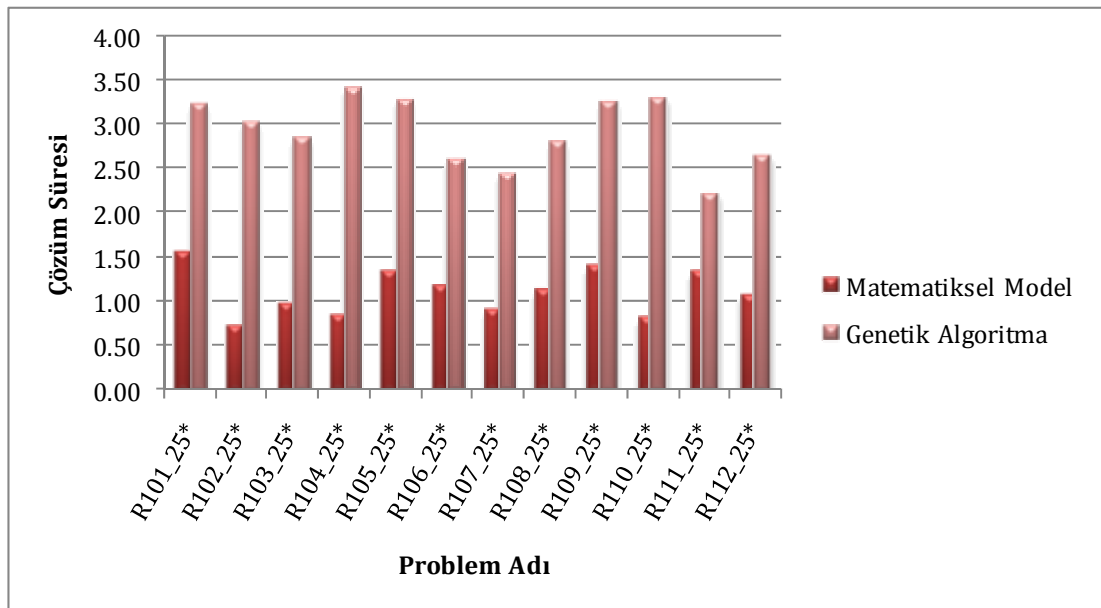
Şekil 5.5. C tipi 100 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları



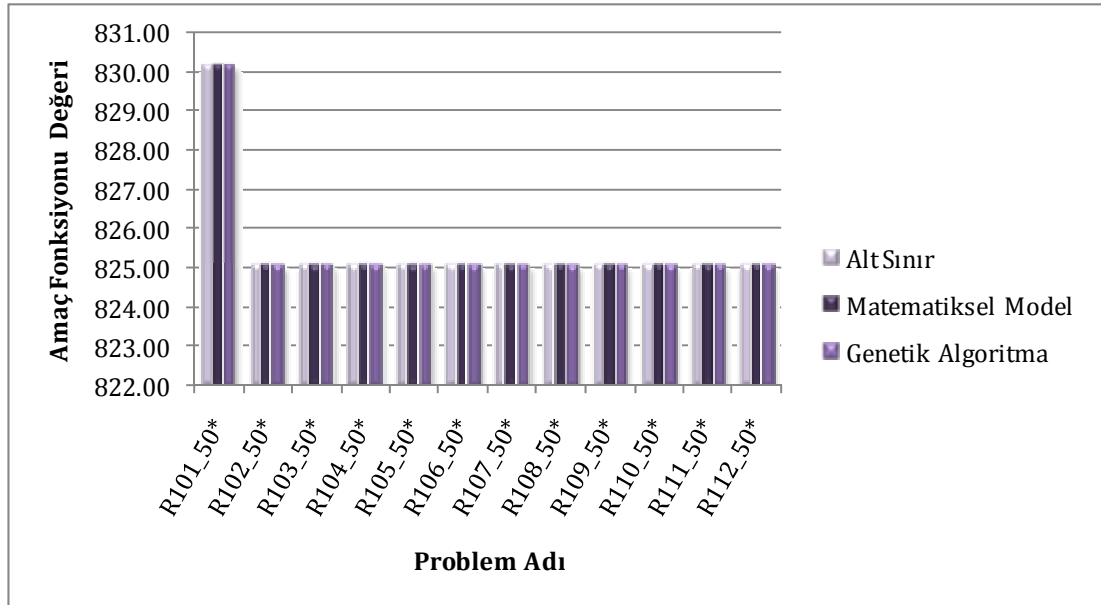
Şekil 5.6. C tipi 100 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri



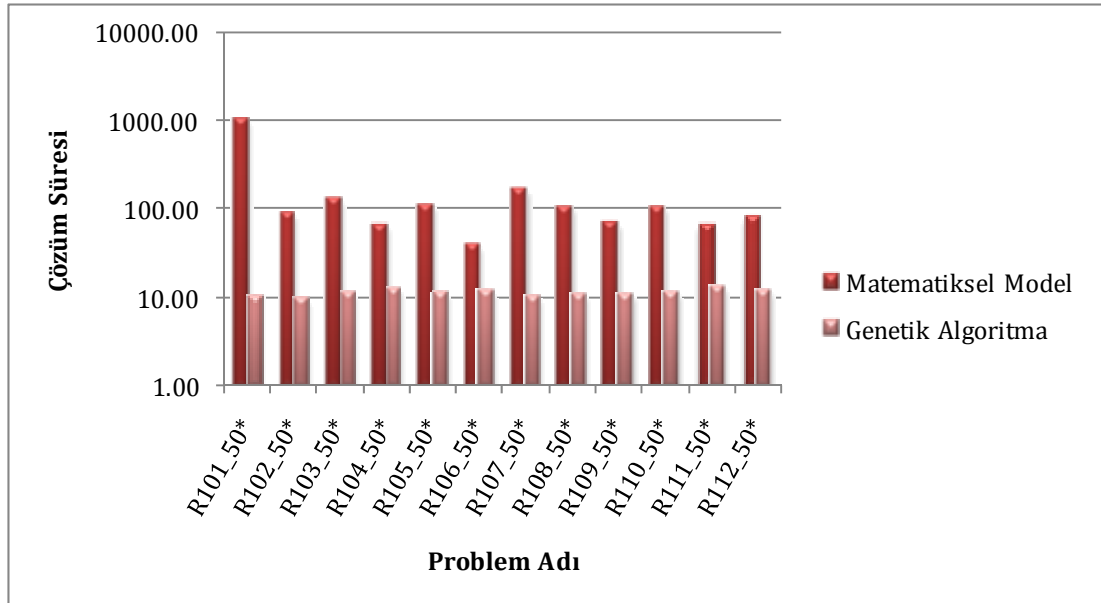
Şekil 5.7. R tipi 25 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları



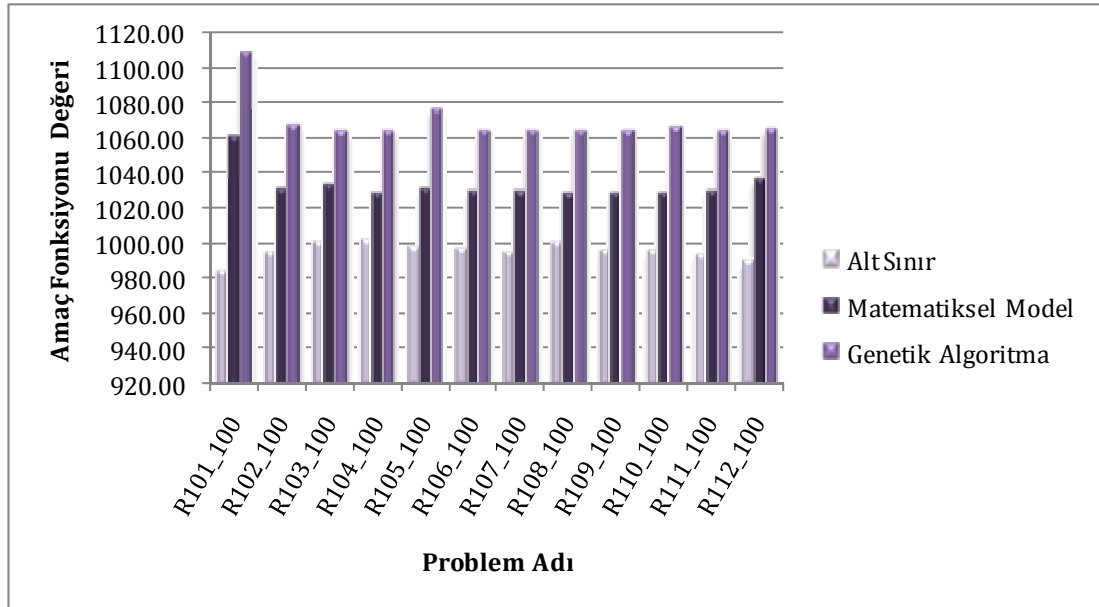
Şekil 5.8. R tipi 25 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri



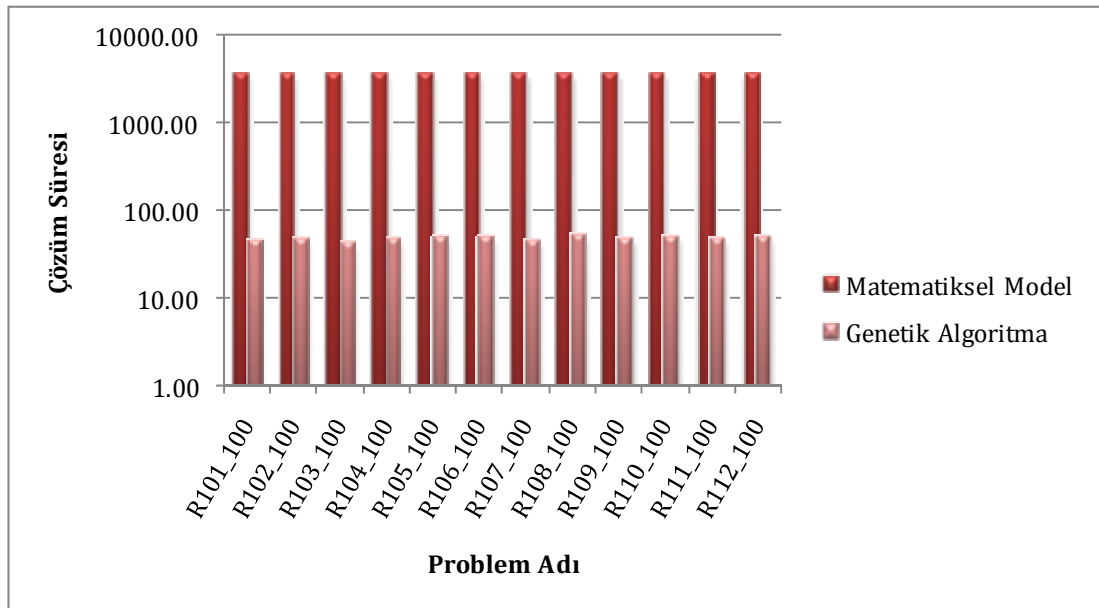
Şekil 5.9. R tipi 50 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları



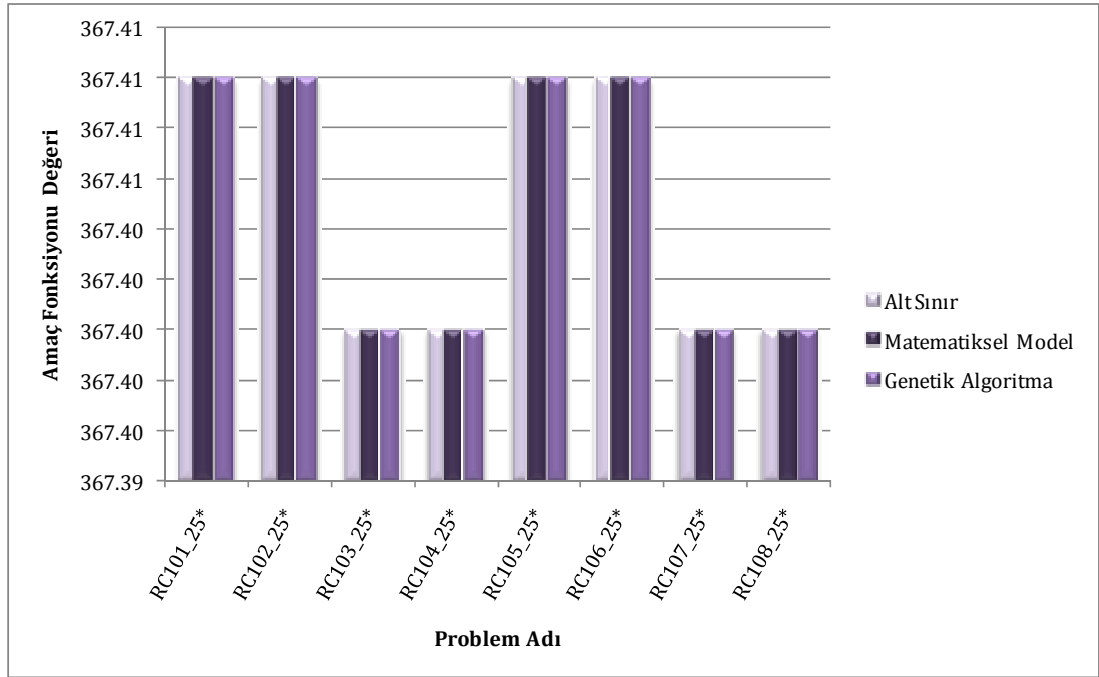
Şekil 5.10. R tipi 50 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri



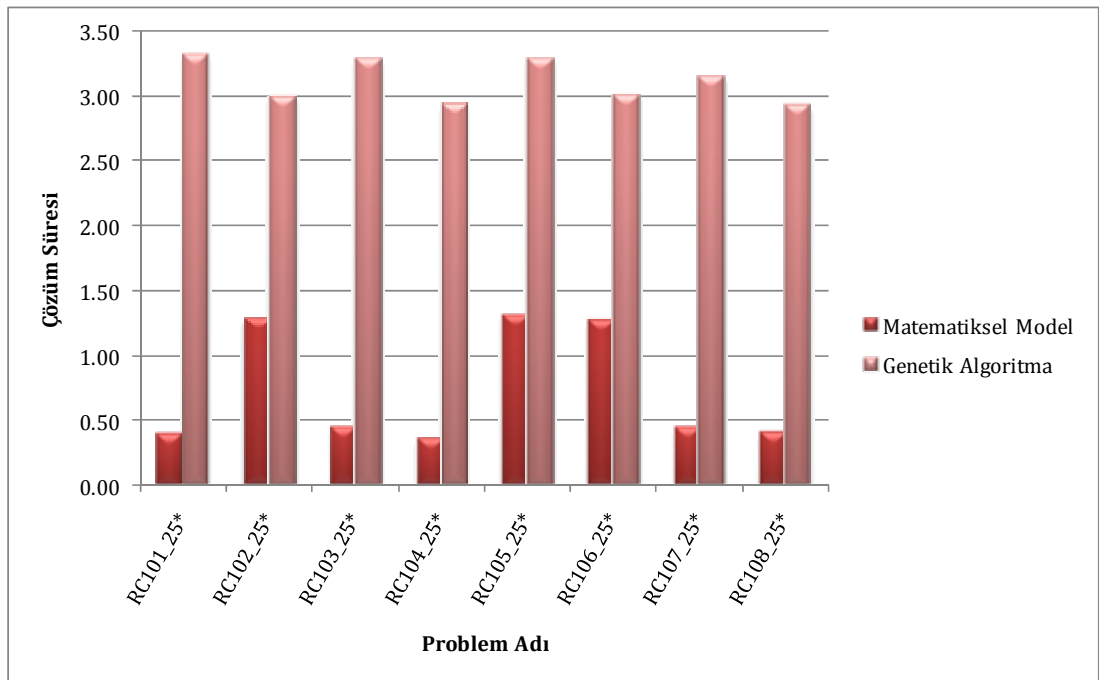
Şekil 5.11. R tipi 100 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları



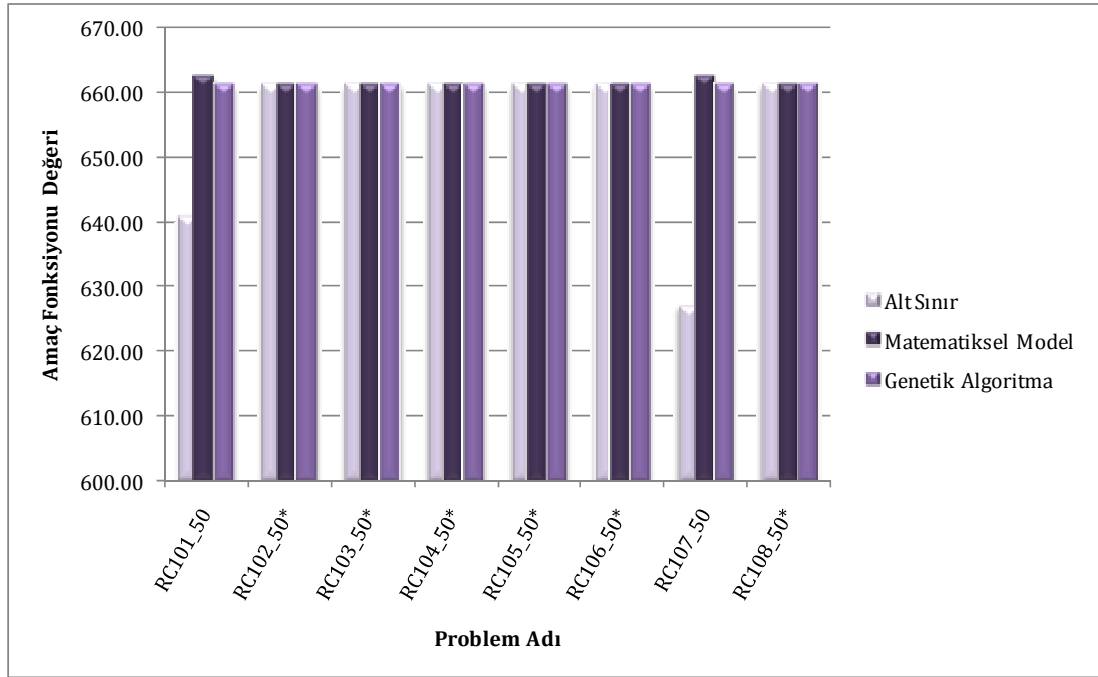
Şekil 5.12. R tipi 100 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri



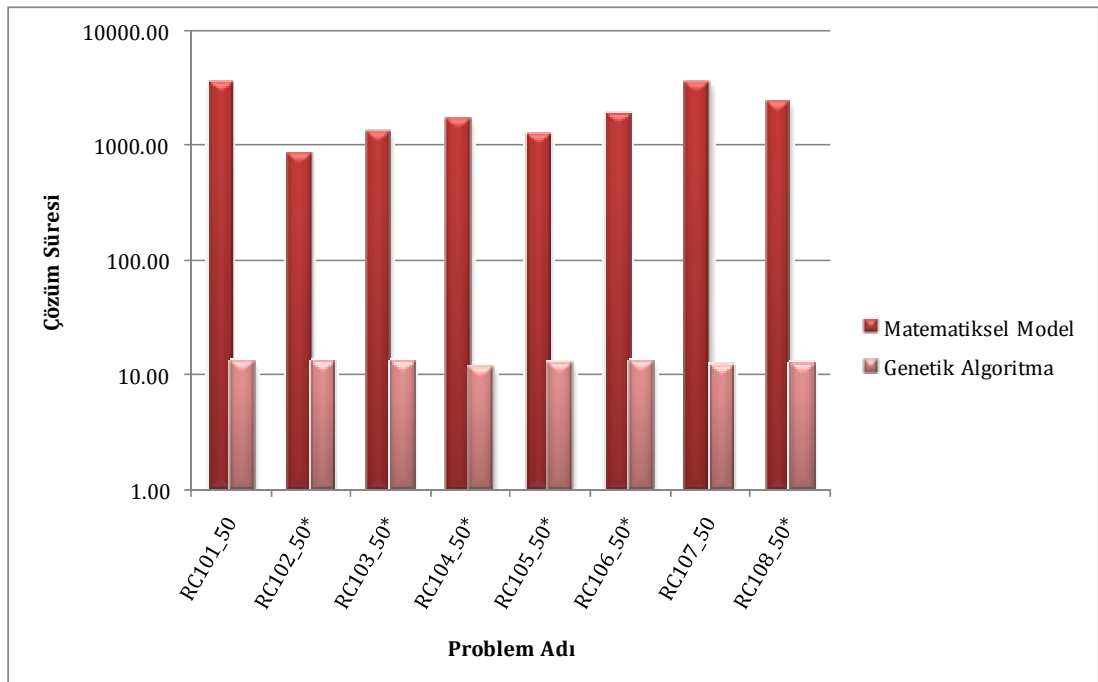
Şekil 5.13. RC tipi 25 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları



Şekil 5.14. RC tipi 25 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri



Şekil 5.15. RC tipi 50 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları



Şekil 5.16. RC tipi 50 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri

Benzer sonuçlar geniş zaman pencereli test problemleri için de elde edilmiştir. Çizelge 5.4-Çizelge 5.6'de sırasıyla C, R ve RC tipi geniş zaman pencereli test problemleri ile elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Bu çizelgelerden görüleceği gibi düğüm sayısının 25 olduğu bütün test problemlerinde hem önerilen matematiksel model ile hem de geliştirilen GA ile en iyi çözümlere çok kısa sürelerde ulaşılmıştır.

Çizelge 5.4. C tipi geniş zaman pencereli problemler ile ilgili deneysel sonuçlar

K	J	Problem Adı	Alt Sınır	Matematiksel Model		Genetik Algoritma	
				AFD	OÇS	AFD	OÇS
20	5	C201_25*	292,17	292,17	0,25	292,17	3,03
		C202_25*	292,09	292,09	0,27	292,09	3,10
		C203_25*	291,99	291,99	0,29	291,99	3,06
		C204_25*	291,91	291,91	0,29	291,91	3,09
		C205_25*	292,16	292,16	0,25	292,16	2,97
		C206_25*	292,15	292,15	0,27	292,15	3,97
		C207_25*	292,11	292,11	0,29	292,11	2,20
		C208_25*	292,13	292,13	0,32	292,13	3,50
Ortalama		292,09	292,09	0,28	292,09	3,11	
40	10	C201_50	495,92	511,87	3600,00	511,29	11,84
		C202_50	495,20	511,65	3600,00	511,29	11,51
		C203_50	492,73	511,51	3600,00	511,29	11,89
		C204_50	501,24	511,41	3600,00	511,29	11,59
		C205_50	497,48	511,82	3600,00	511,29	10,72
		C206_50	497,52	511,79	3600,00	511,29	11,49
		C207_50	496,28	511,73	3600,00	511,29	12,72
		C208_50	499,66	511,80	3600,00	511,29	11,86
Ortalama		497,00	511,70	3600,00	511,29	11,70	
90	10	C201_100	881,60	961,42	3600,00	936,15	48,93
		C202_100	874,55	951,41	3600,00	926,34	49,70
		C203_100	877,02	944,30	3600,00	926,34	48,49
		C204_100	879,00	925,05	3600,00	926,34	48,05
		C205_100	882,88	982,19	3600,00	929,98	53,07
		C206_100	870,63	962,38	3600,00	927,81	51,24
		C207_100	880,86	953,80	3600,00	929,98	50,70
		C208_100	878,57	931,23	3600,00	927,81	47,65
Ortalama		878,14	951,47	3600,00	928,84	49,73	
Genel Ortalama		555,74	585,09	2400,09	577,41	21,52	

*: en iyi çözümü bulunan problemler

AFD: amaç fonksiyonu değeri

OÇS: ortalama çözüm süresi

Çizelge 5.5. R tipi geniş zaman pencereli problemler ile ilgili deneysel sonuçlar

K	J	Problem Adı	Alt Sınır	Matematiksel Model		Genetik Algoritma	
				AFD	OÇS	AFD	OÇS
20	5	R201_25*	476,67	476,67	0,73	476,67	2,59
		R202_25*	476,66	476,66	0,69	476,66	3,14
		R203_25*	476,61	476,61	0,68	476,61	3,34
		R204_25*	476,60	476,60	0,57	476,60	3,14
		R205_25*	476,66	476,66	0,93	476,66	3,37
		R206_25*	476,65	476,65	1,28	476,65	3,39
		R207_25*	476,61	476,61	0,73	476,61	2,94
		R208_25*	476,60	476,60	0,91	476,60	2,70
		R209_25*	476,64	476,64	0,62	476,64	3,27
		R210_25*	476,65	476,65	0,93	476,65	2,93
		R211_25*	476,64	476,64	1,34	476,64	2,47
Ortalama		476,64	476,64	0,86	476,64	3,03	
40	10	R201_50*	728,82	728,82	30,11	728,82	10,53
		R202_50*	728,78	728,78	5,20	739,39	12,06
		R203_50*	728,76	728,76	5,54	744,53	11,16
		R204_50*	728,76	728,76	13,19	728,76	11,21
		R205_50*	728,80	728,80	6,71	744,53	12,85
		R206_50*	728,77	728,77	5,36	728,77	11,69
		R207_50*	728,76	728,76	3,46	728,76	10,63
		R208_50*	728,75	728,75	5,00	728,75	11,06
		R209_50*	728,79	728,79	5,97	728,79	10,59
		R210_50*	728,79	728,79	3,45	728,79	12,20
		R211_50*	728,78	728,78	5,97	728,78	11,26
Ortalama		728,78	728,78	8,18	732,61	11,39	
90	10	R201_100	944,94	967,03	3600,00	973,03	49,31
		R202_100	955,63	970,19	3600,00	966,00	47,51
		R203_100	938,62	966,27	3600,00	967,63	53,52
		R204_100	953,96	966,74	3600,00	967,63	54,13
		R205_100	949,98	969,15	3600,00	966,66	51,83
		R206_100	959,09	966,81	3600,00	967,63	50,75
		R207_100	954,30	966,72	3600,00	967,63	48,17
		R208_100	952,23	971,74	3600,00	967,63	48,00
		R209_100	957,15	966,30	3600,00	966,33	51,68
		R210_100	930,32	972,68	3600,00	967,63	46,67
		R211_100	940,41	970,80	3600,00	967,63	50,75
Ortalama		948,78	968,58	3600,00	967,76	50,21	
Genel Ortalama		718,07	724,67	1203,01	725,67	21,54	

*: en iyi çözümü bulunan problemler

AFD: amaç fonksiyonu değeri

OÇS: ortalama çözüm süresi

Çizelge 5.6. RC tipi geniş zaman pencereli problemler ile ilgili deneysel sonuçlar

K	J	Problem Adı	Alt Sınır	Matematiksel Model		Genetik Algoritma	
				AFD	OÇS	AFD	OÇS
20	5	RC201_25*	303,91	303,91	0,95	303,91	2,56
		RC202_25*	303,87	303,87	0,78	303,87	2,75
		RC203_25*	303,85	303,85	0,72	303,85	2,20
		RC204_25*	303,85	303,85	0,82	303,85	3,57
		RC205_25*	303,89	303,89	0,85	303,89	2,90
		RC206_25*	303,89	303,89	1,11	303,89	3,04
		RC207_25*	303,88	303,88	0,87	303,88	2,64
		RC208_25*	303,87	303,87	1,32	303,87	2,99
		Ortalama		303,88	303,88	0,93	303,88
40	10	RC201_50	500,59	513,43	3600,00	510,98	11,50
		RC202_50*	511,09	511,09	260,25	514,21	12,21
		RC203_50*	511,08	511,08	47,97	511,08	12,29
		RC204_50*	511,07	511,07	83,16	525,03	14,21
		RC205_50	475,68	511,11	3600,00	510,98	12,18
		RC206_50*	511,10	511,10	136,67	511,10	9,98
		RC207_50*	511,09	511,09	58,39	511,09	11,81
		RC208_50*	511,08	511,08	71,67	525,38	12,14
		Ortalama		505,35	511,38	982,26	514,98
90	10	RC201_100	981,71	1058,07	3600,00	1055,45	49,59
		RC202_100	991,41	1074,32	3600,00	1054,92	50,85
		RC203_100	996,74	1083,32	3600,00	1054,92	54,19
		RC204_100	987,90	1062,70	3600,00	1054,92	48,75
		RC205_100	991,73	1062,88	3600,00	1054,92	51,89
		RC206_100	987,26	1062,22	3600,00	1054,92	55,75
		RC207_100	983,04	1056,88	3600,00	1054,92	50,33
		RC208_100	986,85	1070,19	3600,00	1054,92	50,43
		Ortalama		988,33	1066,32	3600,00	1054,99
Genel Ortalama		599,18	627,19	1527,73	624,61	22,11	

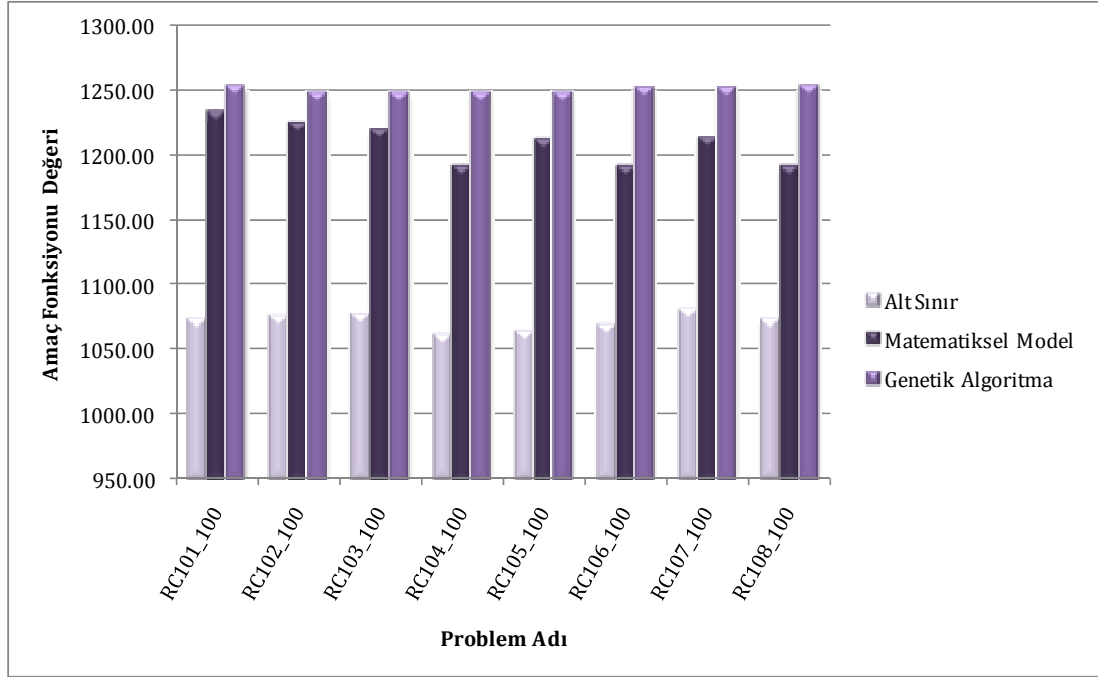
*: en iyi çözümü bulunan problemler

AFD: amaç fonksiyonu değeri

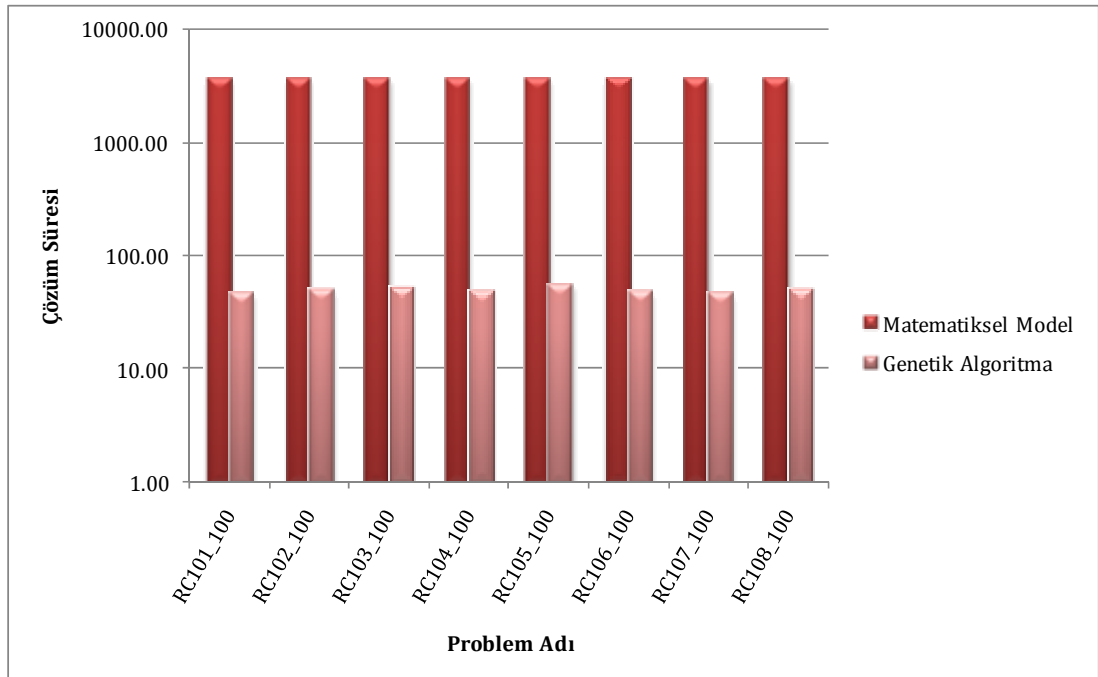
OÇS: ortalama çözüm süresi

50 düğümlük test problemlerinde ise belirlenen çözüm süresi içerisinde, R tipi problemlerin tamamında en iyi çözümlere ulaşılmışken, RC tipi problemlerin RC201_50 ve RC205_50 kodlu problemlerinde, C tipi problemlerde ise hiçbir test probleminde en iyi çözümlere ulaşılamamıştır. Sıkı zaman pencereli problemlerden farklı olarak, dar zaman pencereli problemlerde önerilen GA, C tipi problemlerde (8 problem) geliştirilen matematiksel modelden daha iyi çözümlere ulaşılmışken, R tipi problemlerde 8 ve RC tipi problemlerde 5 olmak üzere toplamda 21 problemde daha iyi çözümlere ulaşılmıştır. Diğerlerinde ise aynı ya da daha iyi çözümlere ulaşılmıştır.

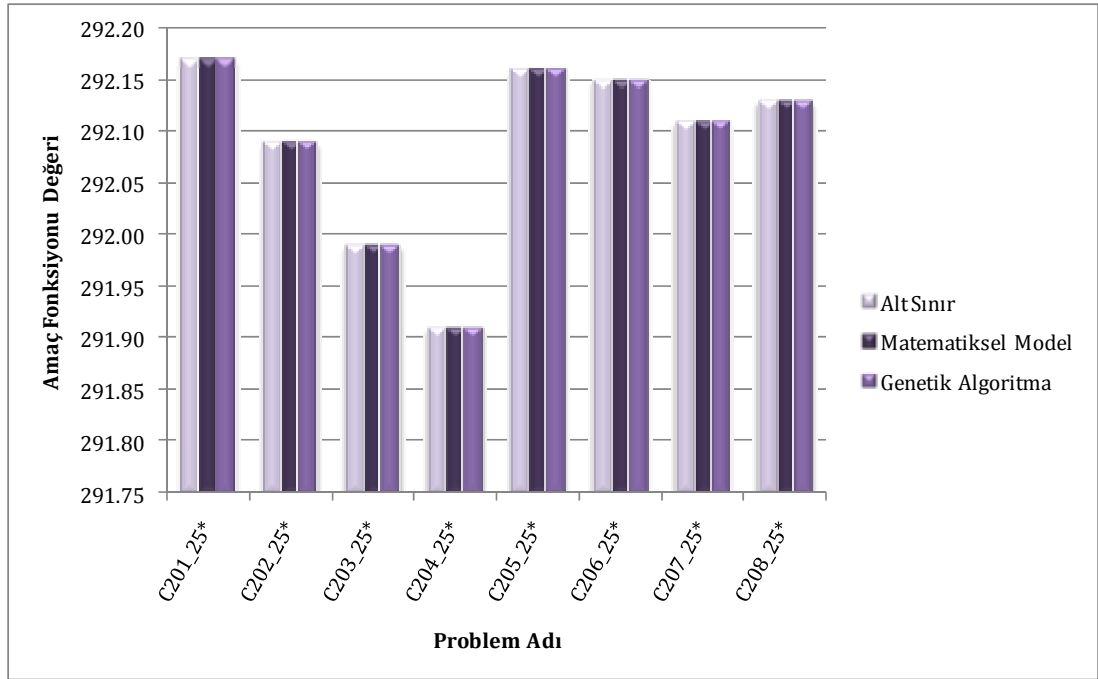
C, R ve RC tipi problemler için matematiksel modelin çözüm süreleri sırasıyla 3600,00; 8,18 ve 982,26 sn. iken önerilen GA ile bu rakamlar sırasıyla 11,70; 11,39 ve 12,04 sn. olarak elde edilmiştir.



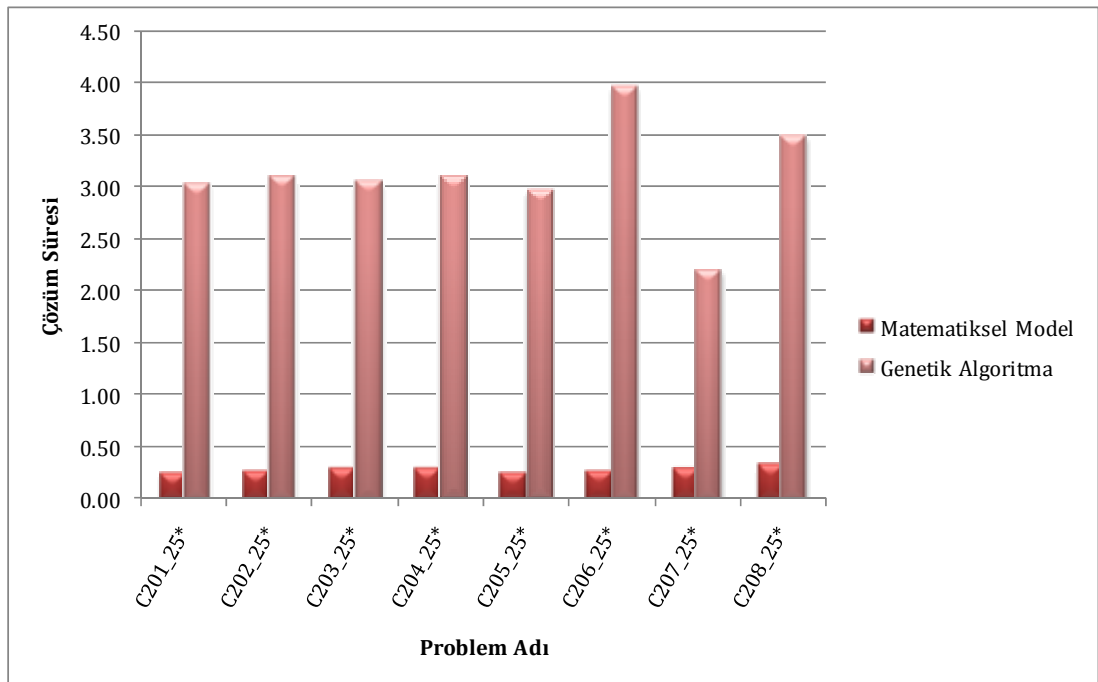
Şekil 5.17. RC tipi 100 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları



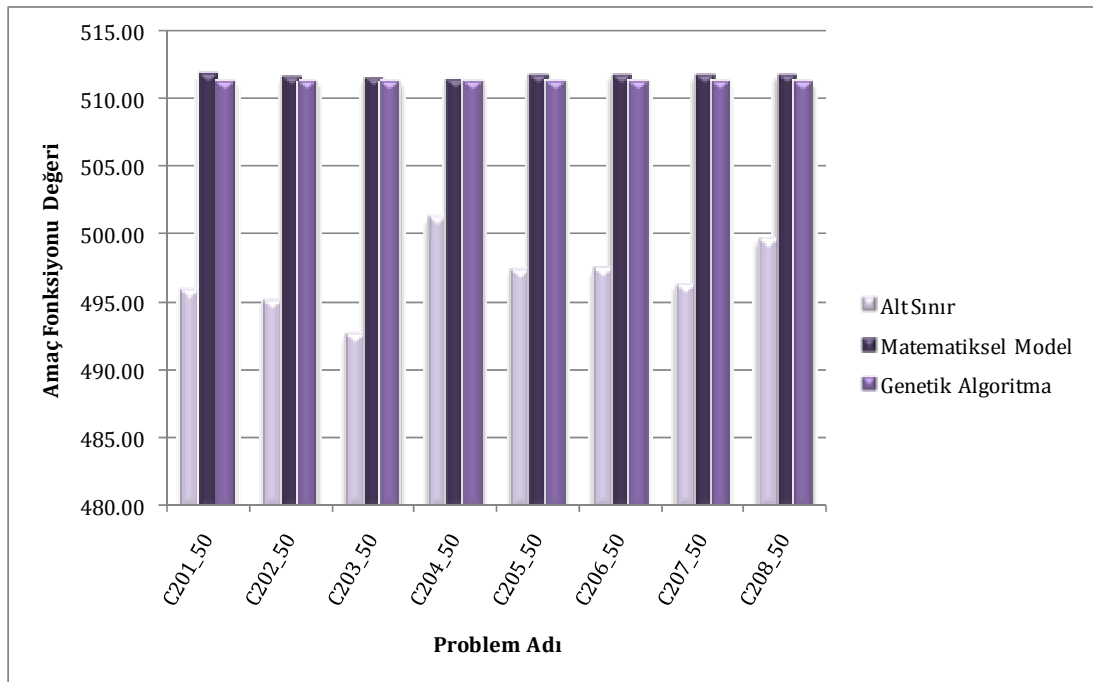
Şekil 5.18. RC tipi 100 düğümlü sıkı zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri



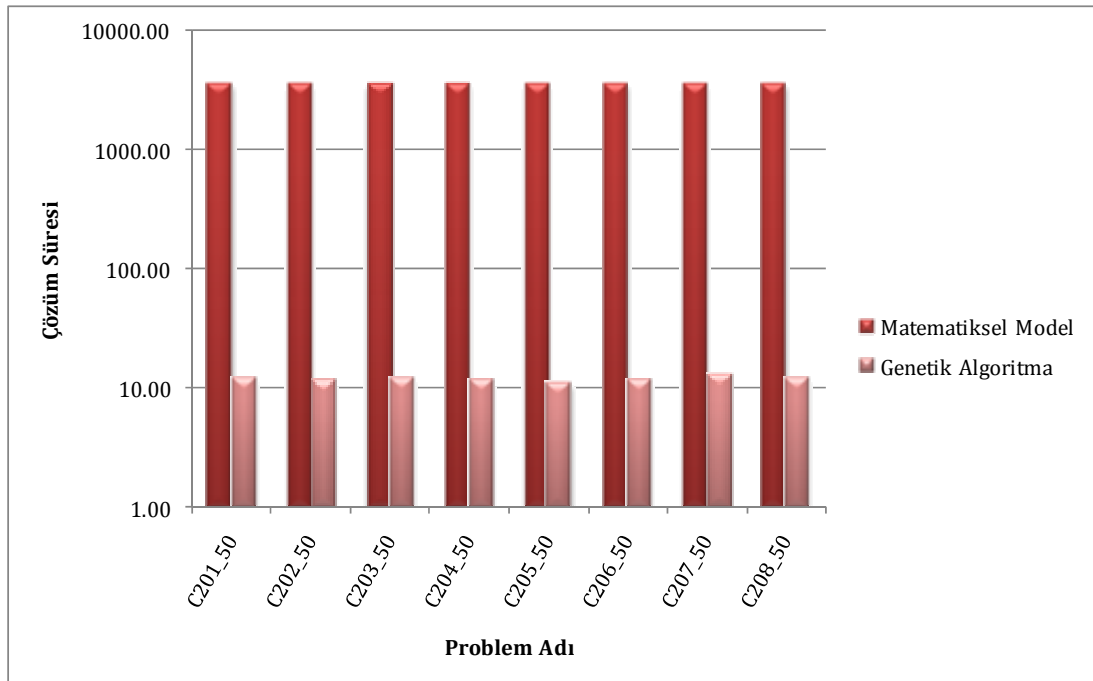
Şekil 5.19. C tipi 25 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları



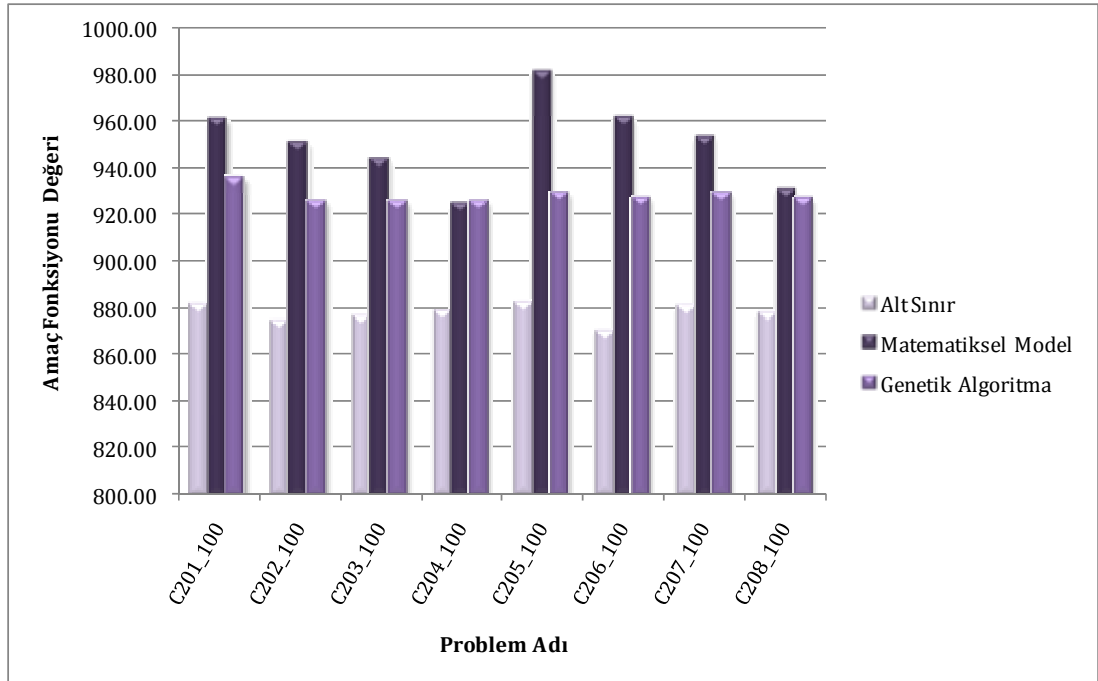
Şekil 5.20. C tipi 25 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri



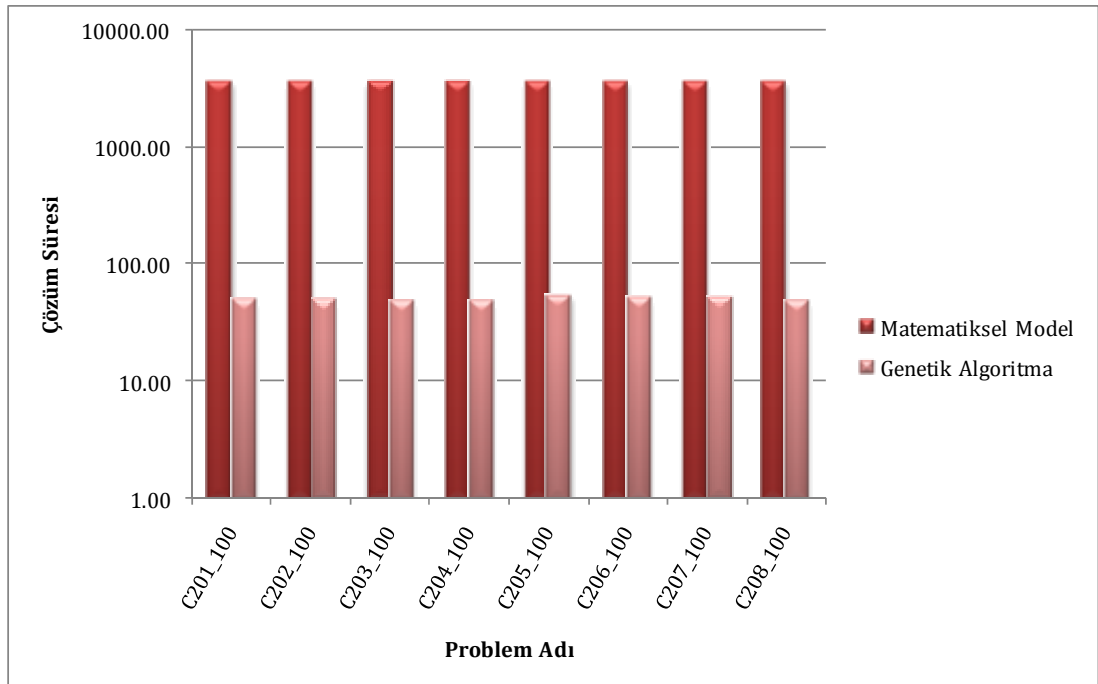
Şekil 5.21. C tipi 50 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları



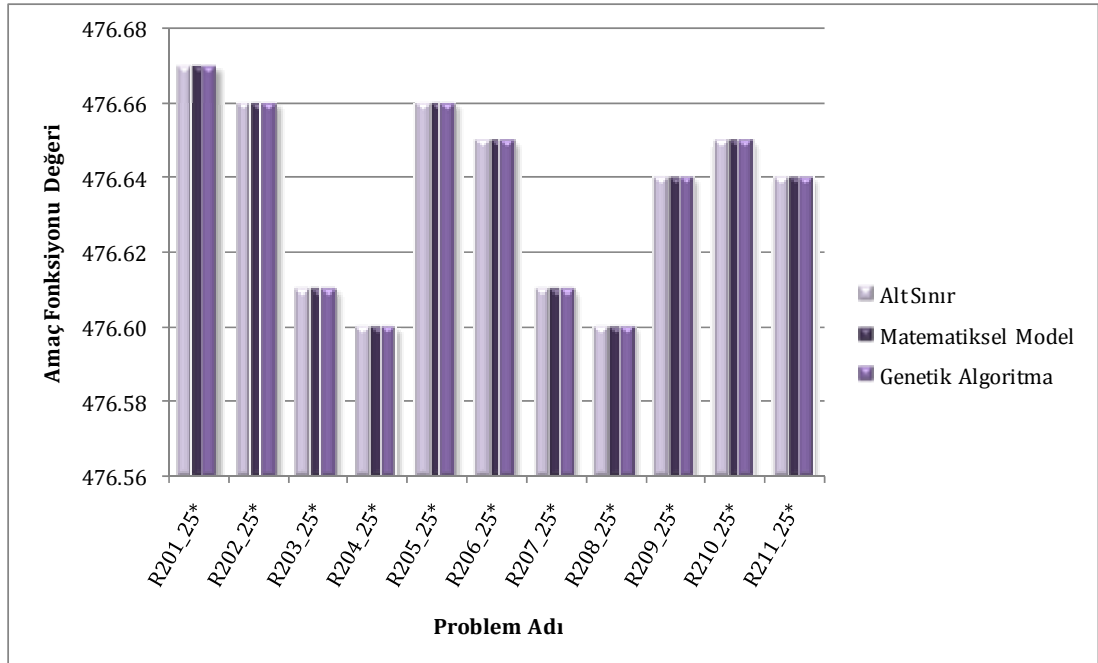
Şekil 5.22. C tipi 50 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri



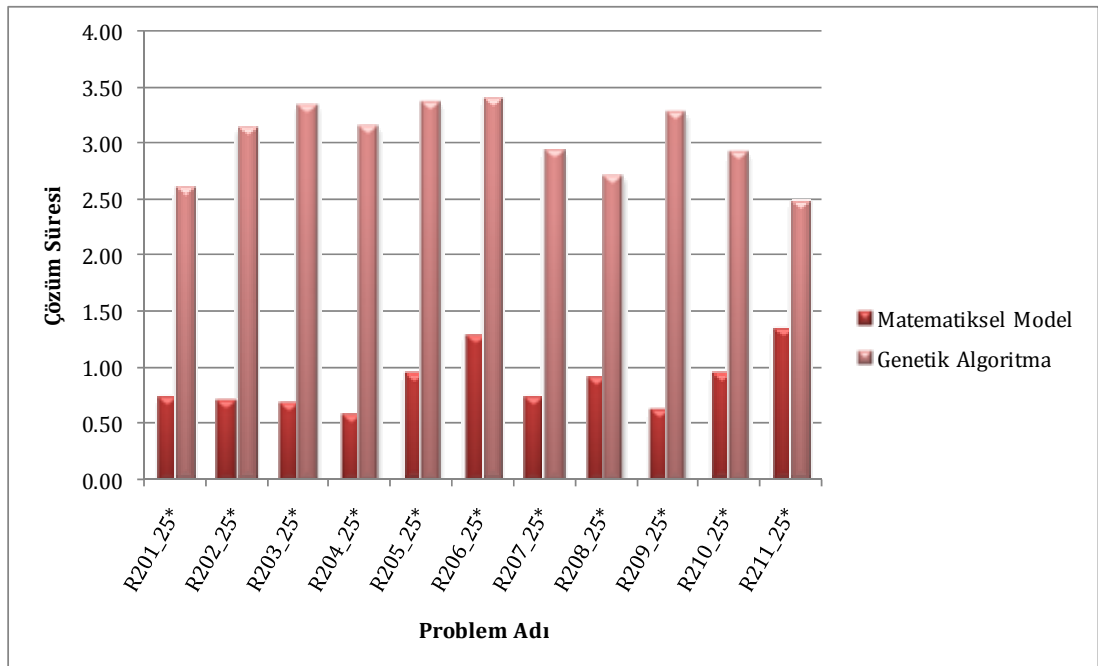
Şekil 5.23. C tipi 100 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları



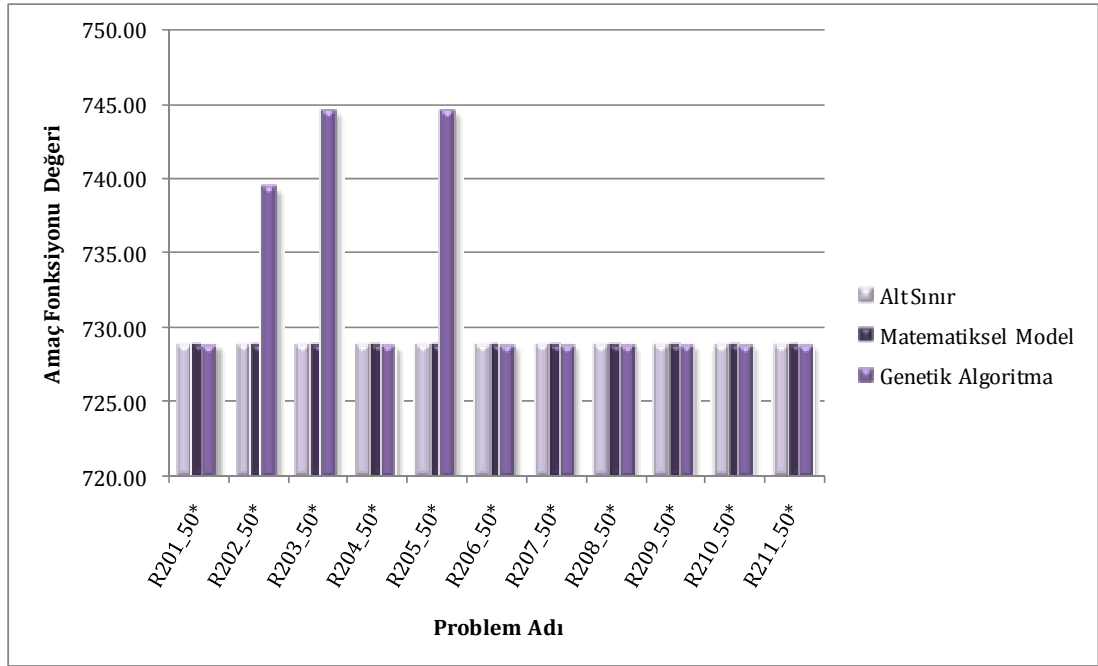
Şekil 5.24. C tipi 100 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri



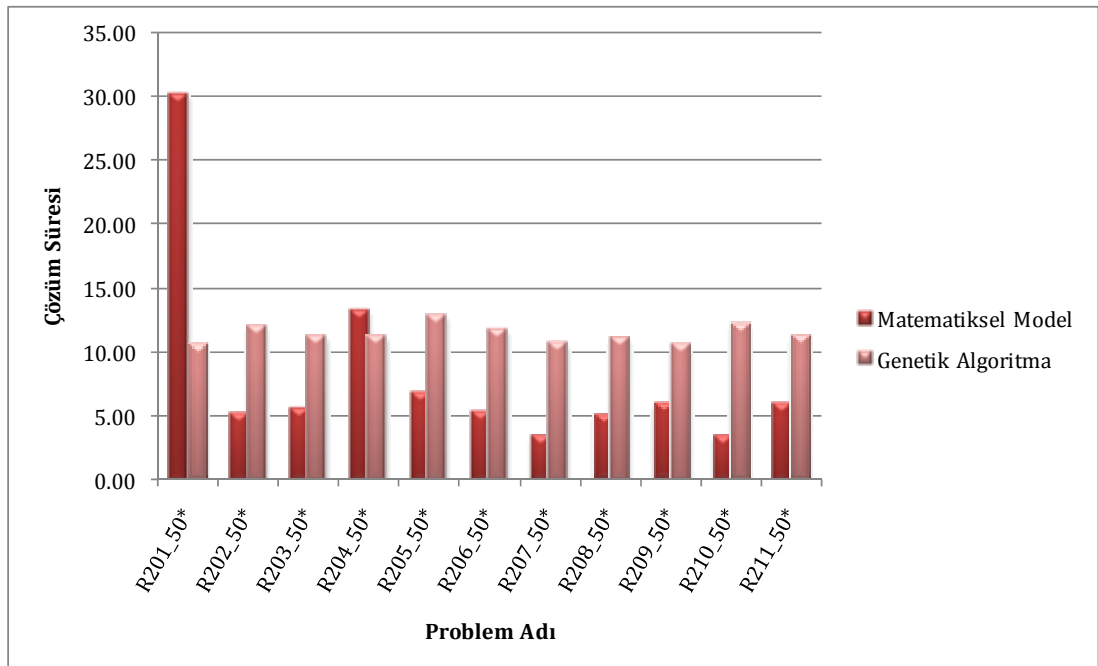
Şekil 5.25. R tipi 25 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları



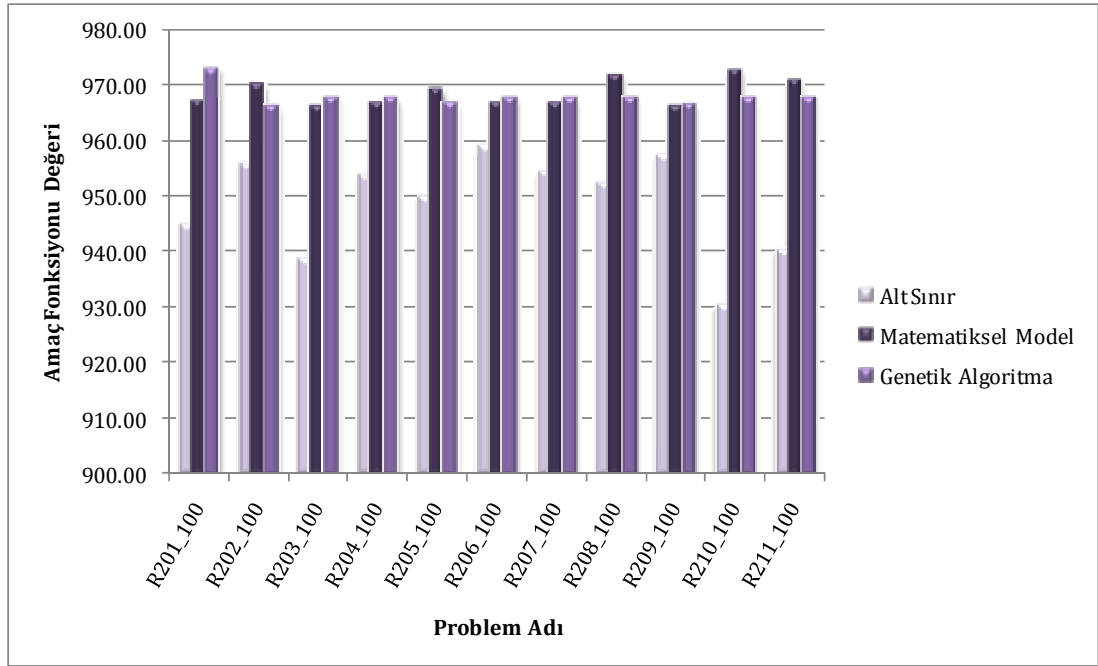
Şekil 5.26. R tipi 25 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri



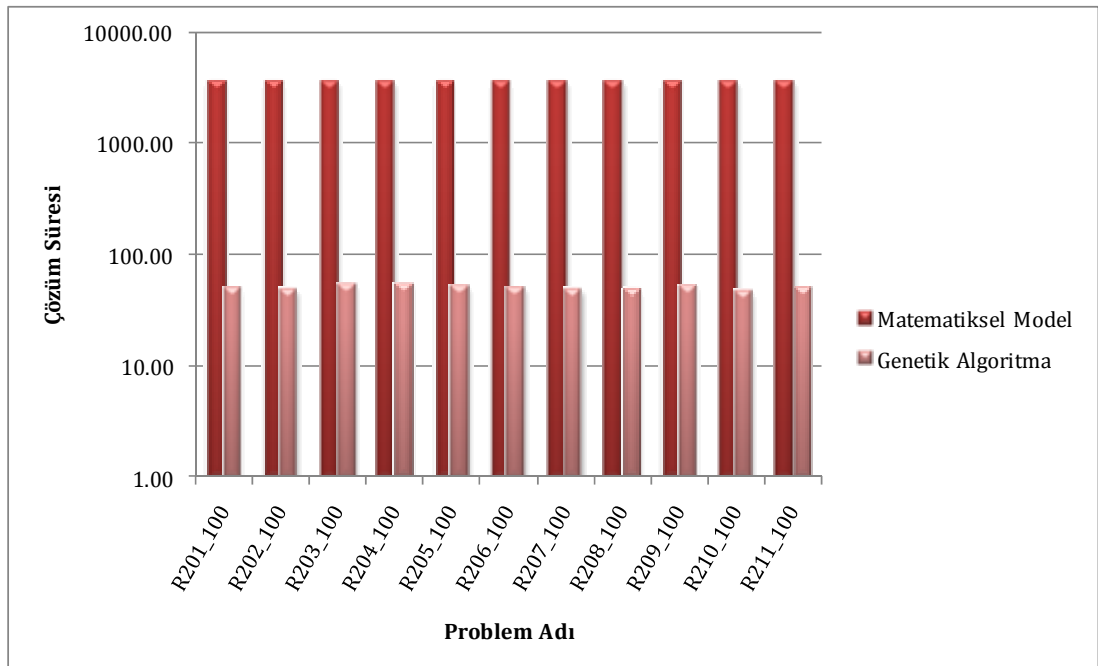
Şekil 5.27. R tipi 50 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları



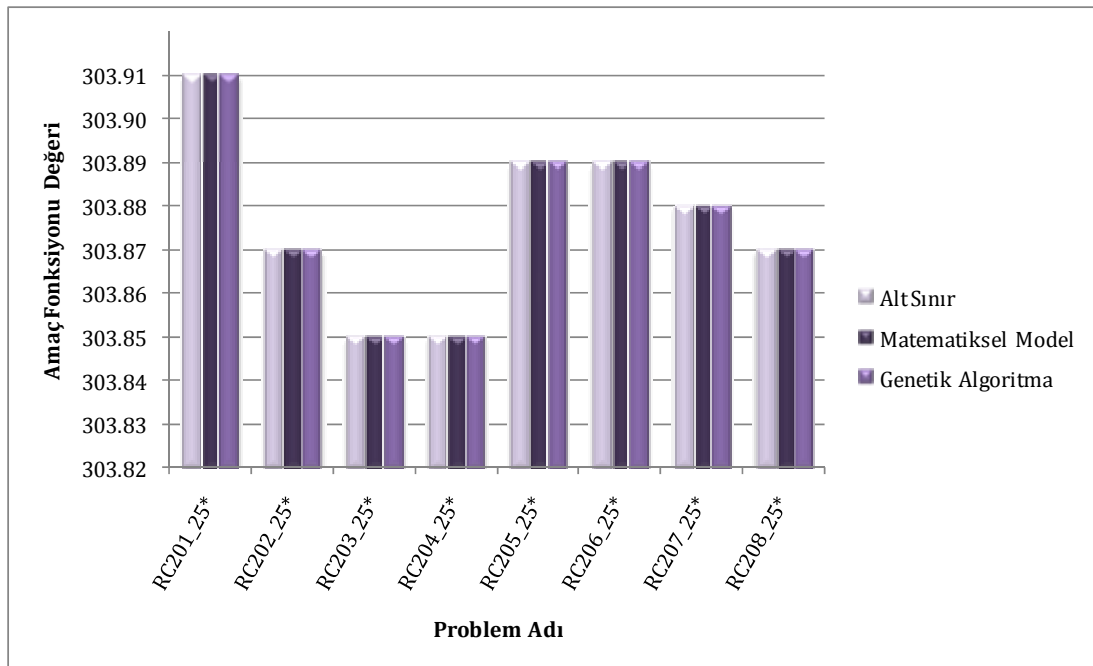
Şekil 5.28. R tipi 50 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri



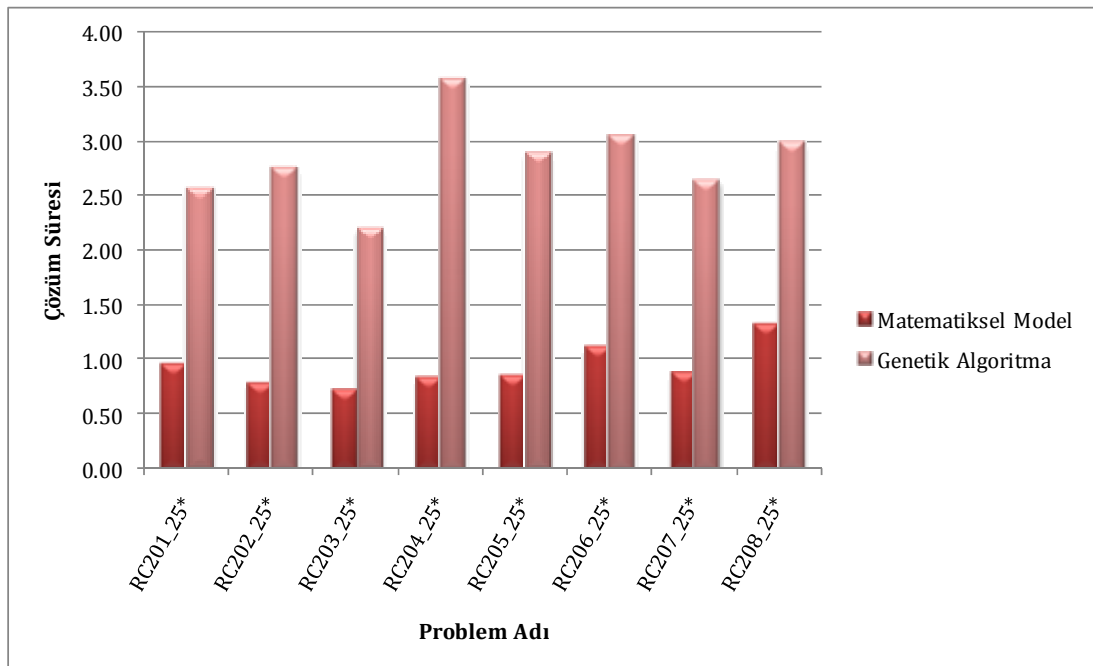
Şekil 5.29. R tipi 100 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları



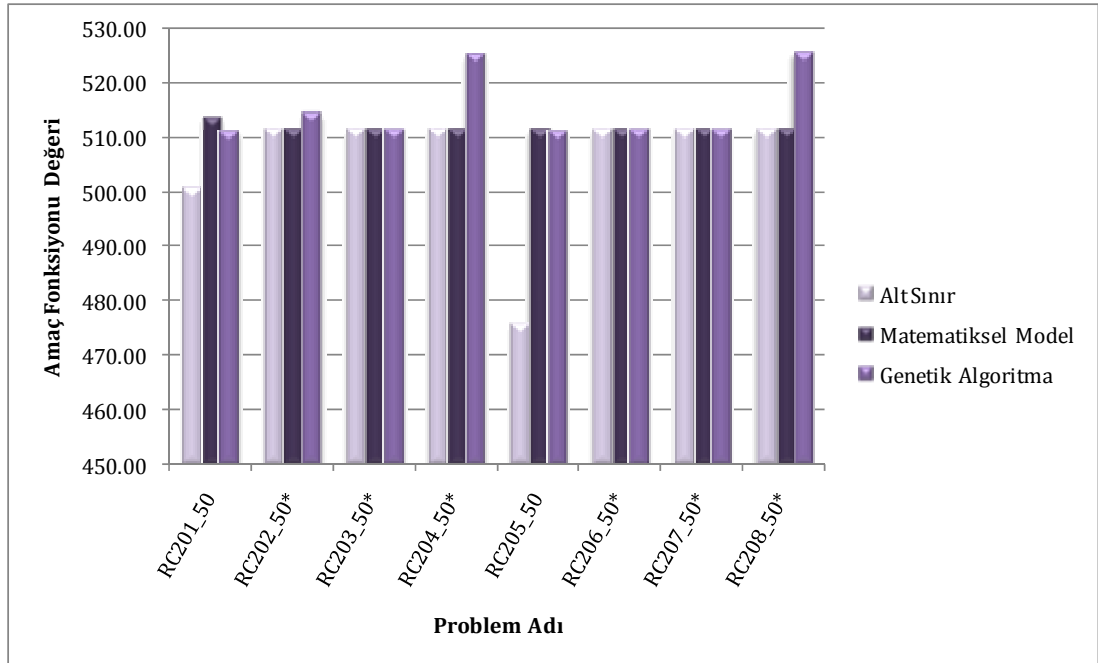
Şekil 5.30. R tipi 100 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri



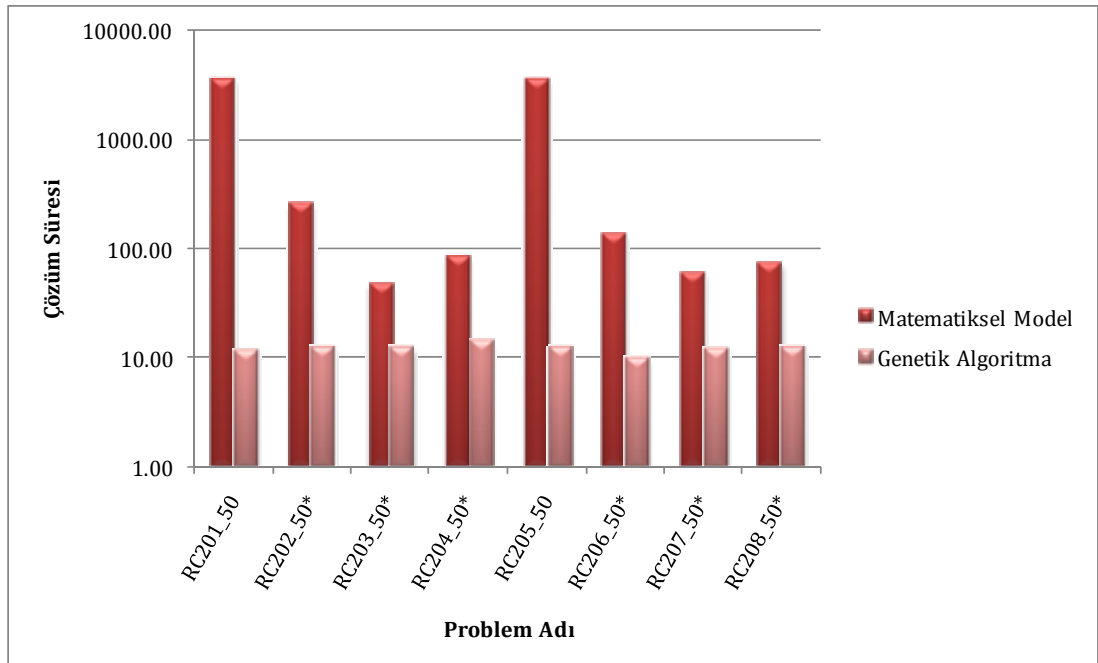
Şekil 5.31. RC tipi 25 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları



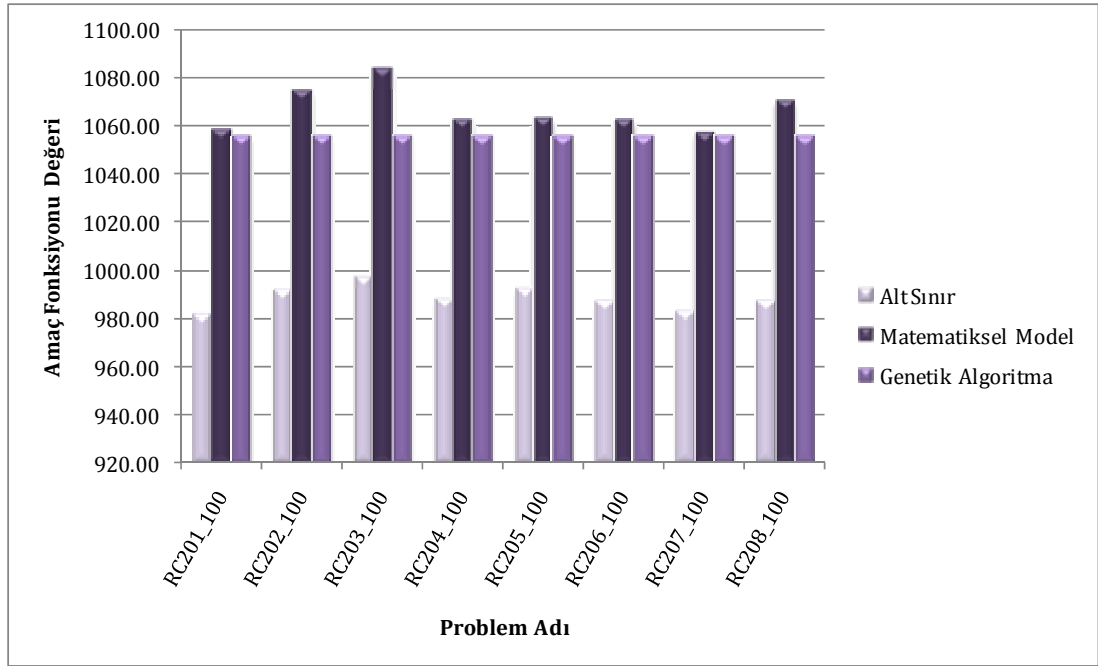
Şekil 5.32. RC tipi 25 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri



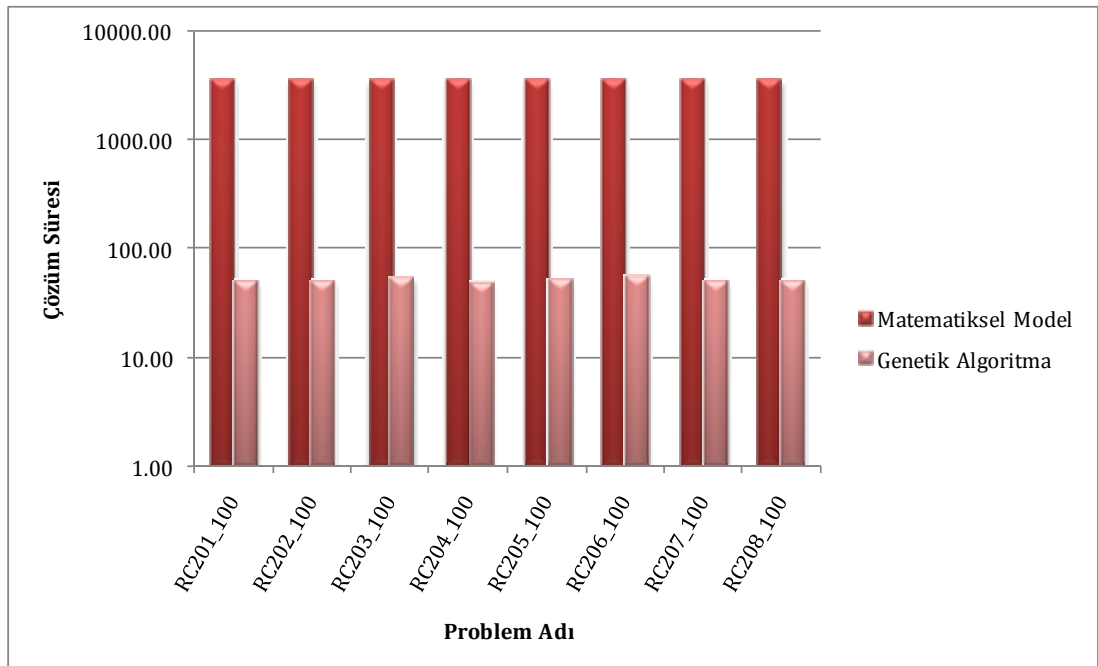
Şekil 5.33. RC tipi 50 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları



Şekil 5.34. RC tipi 50 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri



Şekil 5.35. RC tipi 100 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin deneysel sonuçları



Şekil 5.36. RC tipi 100 düğümlü geniş zaman pencereli problemlerin çözüm süreleri

100 düğümlük test problemlerinde ise önerilen matematiksel model ile hiçbir problemde en iyi çözüme ulaşılamamıştır. Önerilen GA ise matematiksel modele nazaran oldukça kısa sürelerde (C, R ve RC tipi problemler için sırasıyla 49,73;

50,21 ve 51,47 sn.) oldukça iyi çözümlere ulaşmıştır. RC tipi problem sınıfındaki bütün test problemlerinde (8 problem) önerilen GA ile daha iyi sonuçlar elde edilirken, R tipi problemlerde 5, C tipi problemlerde ise 7 problem olmak üzere toplamda 20 problemde daha iyi sonuç elde edilmiştir.

6. SONUÇ VE İLERİ ÇALIŞMALAR

Bu tez kapsamında, ARP'nin şu ana kadar literatürde incelenmemiş ve pratikte karşılaşılabilen bir tipi olan 2HZIP_ARP ele alınmıştır. Bu problemin öncelikle tanımı yapılmış ve bir matematiksel model geliştirilmiştir. Buna ek olarak kısa sürede iyi çözümler üreten sezgisel bir yöntem önerilmiştir.

Önerilen matematiksel model ve sezgisel yöntemin performansı, düğüm sayıları 25, 50 ve 100 olan test problemleri kullanılarak incelenmiştir. Sonuç olarak, küçük boyutlu problemlerde hem matematiksel model hem de sezgisel yöntem ile en iyi çözümlere ulaşıldığı, büyük boyutlu problemlerde ise sezgisel yöntemle makul sürelerde iyi çözümlere ulaşıldığı görülmüştür.

Bu tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar göz önünde bulundurularak ileride yapılabilecek çalışmalar aşağıda verilmektedir.

1. Önerilen matematiksel model temel alınarak bir kesin algoritma geliştirilip çok daha kısa sürelerde en iyi çözümlere ulaşılabilir.
2. Bu tezde ele alınan problemin, heterojen araçlı, çok dönemli, stokastik varyasyonları ele alınıp, önerilen matematiksel model ve sezgisel yöntem ilgilenilen probleme uyarlanabilir.
3. Mutasyon operatörü yerine kullanılan yerel arama algoritmasında yeni komşu arama mekanizmaları (yer değiştirme operatörüne ek olarak araya yerleştirme (*insert*), aralık ters çevirme (*swap range*) operatörleri gibi) kullanılarak önerilen sezgisel yöntemin performansı daha da artırılabilir. Ayrıca, tabu arama, tavlama benzetimi, karınca kolonileri eniyilemesi gibi yöntemlerle karşılaştırmalı olarak incelenip hangisinin daha iyi performans gösterdiği tespit edilebilir.

KAYNAKLAR

Achuthan, N.R., Caccetta, L., Hill, S.P., "An improved branch-and-cut algorithm for the capacitated vehicle routing problem", ***Transportation Science***, 37(2): 153-169 (2003).

Anily, S.H., Mosheiov, G., "The traveling salesman problem with delivery and backhauls", ***Operations Research Letters***, 16: 11-18 (1994).

Araque, J., Kudva, G., Morin, T.L., Pekny, J.F., "A branch-and-cut algorithm for vehicle routing problems", ***Annals of Operations Research***, 50(1): 37-59 (1994).

Augerat, P., Belenguer, J.M., Benavent, E., Corberán, A., Naddef, D., "Separating capacity constraints in the cvrp using tabu search", ***European Journal of Operational Research***, 106(2-3): 546-557 (1998).

Balakrishnan, N., "Simple heuristics for the vehicle routeing problem with soft time windows", ***Journal of the Operational Research Society***, 44(3): 279-287 (1993).

Barbarosoglu, G., Ozgur, D., "A tabu search algorithm for the vehicle routing problem", ***Computers & Operations Research***, 26: 255-270 (1999).

Bent, R., Van Hentenryck, P., "A two-stage hybrid local search for the vehicle routing problem with time windows", ***Transportation Science***, 38(4): 515-530 (2004).

Berbeglia, G., Cordeau, J.-F., Gribkovskaia, I., Laporte, G., "Static pickup and delivery problems: A classification scheme and survey", ***TOP***, 15(1): 1-31 (2007).

Berger, J., Barkaoui, M., Bräysy, O., "A route-directed hybrid genetic approach for the vehicle routing problem with time windows", ***INFOR Journal***, 41(2): 179-194 (2003).

Berger, J., Salois, M., Begin, R., "A hybrid genetic algorithm for the vehicle routing problem with time windows", ***Lecture Notes in Artificial Intelligence***, 1418: 114-127 (1998).

Blanton, J.L., Wainwright, R.L., "Multiple vehicle routing with time and capacity constraints using genetic algorithms", ***Proceedings of the Fifth International Conference on Genetic Algorithms***, 452-459 (1993).

Brandão, J., "Metaheuristic for the vehicle routing problem with time windows", ***Meta-heuristics - Advances and Trends in Local Search Paradigms for Optimization***, 19-36 (1999).

Bräysy, O., "A reactive variable neighborhood search for the vehicle-routing problem with time windows", *INFORMS Journal on Computing*, 15(4): 347-368 (2003).

Bräysy, O., Gendreau, M., "Vehicle routing problem with time windows, part i: Route construction and local search algorithms", *Transportation Science*, 39(1): 104-118 (2005a).

Bräysy, O., Gendreau, M., "Vehicle routing problem with time windows, part ii: Metaheuristics", *Transportation Science*, 39(1): 119-139 (2005b).

Bullnheimer, B., Hartl, R.F., Strauss, C., "An improved ant system algorithm for the vehicle routing problem", *Annals of Operations Research*, 89: 319-328 (1999).

Carlton, W.B., "A tabu search approach to the general vehicle routing problem", Doktora Tezi, *University of Texas*, Austin, 52-58 (1995).

Casco, D.O., Golden, B.L., Wasil, E.A., "Vehicle routing with backhauls". Editörler: Golden, B.L., Assad, A.A., *North-Holland*, 127-147 (1988).

Caseau, Y., Laburthe, F., Silverstein, G., "A meta-heuristic factory for vehicle routing problems", *Proceedings Fifth International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming (CP '99)*, 144-158 (1999).

Chen, J.F., Wu, T.H., "Vehicle routing problem with simultaneous deliveries and pickups", *Journal of the Operational Research Society*, 57: 579-587 (2006).

Chiang, W.C., Russell, R.A., "A reactive tabu search metaheuristic for the vehicle routing problem with time windows", *INFORMS Journal on Computing*, 9(4): 417-430 (1997).

Clarke, G., Wright, J.W., "Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points", *Operations Research*, 12(4): 568-581 (1964).

Cordeau, J.F., Laporte, G., Mercier, A., "A unified tabu search heuristic for vehicle routing problems with time windows", *Journal of the Operational Research Society*, 52(8): 928-936 (2001).

Crispim, J., Brandão, J., "Metaheuristics applied to mixed and simultaneous extensions of vehicle routing problems with backhauls", *Journal of the Operational Research Society*, 56(11): 1296-1302 (2005).

Dantzig, G.B., Ramser, J., "The truck dispatching problem", *Management Science*, 6: 80-88 (1959).

Deif, I., Bodin, L.D. "Extension of the clarke and wright algorithm for solving the vehicle routing problem with backhauling", *Proceedings of the Babson Conference*

on Software Uses in Transportation and Logistic Management, Babson Park (USA): 75-96 (1984)

Desrochers, M., Laporte, G., "Improvements and extensions to the miller-tucker-zemlin subtour elimination constraints", **Operations Research Letters**, 10(1): 27-36 (1991).

Desrochers, M., Lenstra, J.K., Savelsbergh, M.W.P., Soumis, F., "Vehicle routing with time windows: Optimization and approximation", Editörler: Golden, B.L., Assad, A.A., **North-Holland**, Amsterdam, 65-84 (1988).

Dethloff, J., "Vehicle routing and reverse logistics: The vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up", **OR Spektrum**, 23: 79-96 (2001).

Gambardella, L.M., Taillard, E., Agazzi, G., "Macs-vrptw: A multiple ant colony system for vehicle routing problems with time windows", **New Ideas in Optimization**, 63-76 (1999).

Ganesh, K., Narendran, T., "Cloves: A cluster-and-search heuristic to solve the vehicle routing problem with delivery and pick-up", **European Journal of Operational Research**, 178(3): 699-717 (2007).

Ganesh, K., Narendran, T.T., "Taste: A two-phase heuristic to solve a routing problem with simultaneous delivery and pick-up", **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 37(11-12): 1221-1231 (2007).

Garcia, B.L., Potvin, J.Y., Rousseau, J.M., "A parallel implementation of the tabu search heuristic for vehicle routing problems with time window constraints", **Computers and Operations Research**, 21(9): 1025-1033 (1994).

Gehring, H., Homberger, J., "A parallel hybrid evolutionary metaheuristic for the vehicle routing problem with time windows", **Proceedings of EUROGEN99**, 57-64 (1999).

Gehring, H., Homberger, J., "A parallel two-phase metaheuristic for routing problems with time windows", **Asia-Pacific Journal of Operational Research**, 18(1): 35-47 (2001).

Gendreau, M., Hertz, A., Laporte, G., "A tabu search heuristic for the vehicle routing problem", **European Journal of Operational Research**, 178: 699-717 (1994).

Goetschalckx, M., Jacobs-Blecha, C., "The vehicle routing problem with backhauls", **European Journal of Operational Research**, 42: 39-51 (1989).

Goetschalckx, M., Jacobs-Blecha, C., "The vehicle routing problem with backhauls: Properties and solution algorithms", **Teknik Rapor**, 8-11 (1993).

Goldberg, D.E., "Genetic algorithms in search, optimization and machine learning". **Addison Wesley**, 56-85 (1989).

Golden, B.L., Assad, A.A., "Perspectives on vehicle routing: Exciting new developments", **Operations Research**, 34(5): 803-810 (1986).

Golden, B.L., Assad, A.A., "Vehicle routing: Methods and studies", **Elsevier Science Publishers**, Amsterdam, 162-185 (1988).

Golden, B.L., Baker, E., Alfaro, J., Schaffer, J., "The vehicle routing problem with backhauling: Two approaches", **Proceedings of the Twenty-First Annual Meeting of the S. E. TIMS**, Myrtle Beach, SC, USA: 90-92 (1985)

Hiquebran, D.T., Alfa, A.S., Shapiro, A., Gittoes, D.H., "A revised simulated annealing and cluster-first route-second algorithm applied to the vehicle routing problem", **Engineering Optimization**, 22: 77-107 (1994).

Homberger, J., Gehring, H., "Two evolutionary metaheuristics for the vehicle routing problem with time windows", **Infor**, 37(3): 297-318 (1999).

Homberger, J., Gehring, H., "A two-phase hybrid metaheuristic for the vehicle routing problem with time windows", **European Journal of Operational Research**, 162(1): 220-238 (2005).

Ibaraki, T., Imahori, S., Kubo, M., Masuda, T., Uno, T., Yagiura, M., "Effective local search algorithms for routing and scheduling problems with general time window constraints", **Transportation Science**, 39(2): 206-232 (2002).

Jung, S., Moon, B.R., "A hybrid genetic algorithm for the vehicle routing problem with time windows", **GECCO 2002: Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference**, 1309-1316 (2002).

Kulkarni, R.V., Bhawe, P.R., "Integer programming formulations of vehicle routing problems", **European Journal of Operational Research**, 20(1): 58-67 (1985).

Laporte, G., "The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms", **European Journal of Operational Research**, 59(3): 345-358 (1992).

Laporte, G., Desrochers, M., Nobert, Y., "Two exact algorithms for the distance-constrained vehicle routing problem", **Networks**, 14(1): 161-172 (1984).

Lau, H.C., Sim, M., Teo, K.M., "Vehicle routing problem with time windows and a limited number of vehicles", **European Journal of Operational Research**, 148(3): 559-569 (2003).

Le Bouthillier, A., Crainic, T.G., "A cooperative parallel meta-heuristic for the vehicle routing problem with time windows", *Computers and Operations Research*, 32(7): 1685-1708 (2005).

Liu, F.H.F., Shen, S.Y., "Route-neighborhood-based metaheuristic for vehicle routing problem with time windows", *European Journal of Operational Research*, 118(3): 485-504 (1999).

Lysgaard, J., Letchford, A.N., Eglese, R.W., "A new branch-and-cut algorithm for the capacitated vehicle routing problem", *Math. Program.*, 100(2): 423-445 (2004).

Mester, D., "An evolutionary strategies algorithm for large scale vehicle routing problem with capacitate and time window restrictions", *Teknik Rapor, Israil*, 7-11 (2002).

Mingozzi, A., Giorgi, S., Baldacci, R., "An exact method for the vehicle routing problem with backhauls", *Transportation Science*, 33: 315-329 (1999).

Mladenović, N., Hansen, P., "Variable neighborhood search", *Computers and Operations Research*, 24(11): 1097-1100 (1997).

Montane, F.A.T., Galvao, R.D., "A tabu search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery service", *Computers & Operations Research*, 33: 595-619 (2006).

Mosheiov, G., "The travelling salesman problem with pick-up and delivery", *European Journal of Operational Research*, 79(2): 299-310 (1994).

Osman, I.H., "Metastrategy simulated annealing and tabu search algorithms for the vehicle routing problem", *Annals of Operations Research*, 41(4): 421-451 (1993).

Parragh, S.N., Doerner, K.F., Hartl, R.F., "A survey on pickup and delivery problems", *Journal für Betriebswirtschaft*, 58(2): 81-117 (2008).

Potvin, J.Y., Bengio, S., "The vehicle routing problem with time windows part ii: Genetic search", *INFORMS Journal on Computing*, 8(2): 165-172 (1996).

Potvin, J.Y., Robillard, C., "Clustering for vehicle routing with a competitive neural network", *Neurocomputing*, 8(2): 125-139 (1995).

Potvin, J.Y., Rousseau, J.M., "A parallel route building algorithm for the vehicle routing and scheduling problem with time windows", *European Journal of Operational Research*, 66(3): 331-340 (1993).

Prins, C., "A simple and effective evolutionary algorithm for the vehicle routing problem", *Computers and Operations Research*, 31(12): 1985-2002 (2004).

Ralphs, T.K., "Parallel branch and cut for capacitated vehicle routing", *Parallel Computing*, 29(5): 607-629 (2003).

Rego, C., Roucairol, C., "A parallel tabu search algorithm using ejection chains for the vehicle routing problem". Editörler: Osman, I., Kelly, J., *Kluwer*, Boston, 56-95 (1996).

Rochat, Y., Taillard, E.D., "Probabilistic diversification and intensification in local search for vehicle routing", *Journal of Heuristics*, 1(1): 147-167 (1995).

Ropke, S., Pisinger, D., "An adaptive large neighborhood search heuristic for the pickup and delivery problem with time windows", *Transportation Science*, 40(4): 455-472 (2006).

Salhi, S., Nagy, G., "Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pickups and deliveries", *European Journal of Operational Research*, 162: 126-141 (2005).

Schmitt, L.J., "An empirical computational study of genetic algorithms to solve order-based problems: An emphasis on the tsp and the vrp with time constraints", Doktora Tezi, *University of Memphis, Fogelman College of Business and Economics*, 56-64 (1994).

Schulze, J., Fahle, T., "A parallel algorithm for the vehicle routing problem with time window constraints", *Annals of Operations Research*, 86: 585-607 (1999).

Solomon, M.M., "Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints", *Operations Research*, 35(2): 254-265 (1987).

Solomon, M.M., Derosiers, J., "Time window constrained routing and scheduling problems", *Transportation Science*, 22(1): 1-13 (1988).

Taillard, É., Badeau, P., Gendreau, M., Guertin, F., Potvin, J.Y., "A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with soft time windows", *Transportation Science*, 31(2): 170-186 (1997).

Taillard, R.E., "Parallel iterative search methods for vehicle routing problems", *Networks*, 23: 661-673 (1993).

Tan, K.C., Lee, L.H., Ou, K., "Artificial intelligence heuristics in solving vehicle routing problems with time window constraints", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 14(6): 825-837 (2001).

Tan, K.C., Lee, L.H., Zhu, K.Q., Ou, K., "Heuristic methods for vehicle routing problem with time windows", *Artificial Intelligence in Engineering*, 15(3): 281-295 (2001).

Thangiah, S.R., "An adaptive clustering method using a geometric shape for vehicle routing problems with time windows", ***Proceedings of the Sixth International Conference on Genetic Algorithms***, 536-543 (1995a).

Thangiah, S.R., "Vehicle routing with time windows using genetic algorithms", ***Application Handbook of Genetic Algorithms: New Frontiers***, 2: 253-277 (1995b).

Thangiah, S.R., Gubbi, A.V., "Effect of genetic sectoring on vehicle routing problems with time windows", ***Proceedings of the IEEE International Conference on Managing Intelligent System Projects***, Washington, 146-153 (1993)

Thangiah, S.R., Nygard, K.E., Juell, P.L., "Gideon: A genetic algorithm system for vehicle routing with time windows", ***Proceedings of the Seventh Conference on Artificial Intelligence Applications***, 322-328 (1991).

Thangiah, S.R., Osman, I.H., Sun, T., "Hybrid genetic algorithms, simulated annealing and tabu search methods for vehicle routing problems with time windows", ***Teknik Rapor, Canterbury, UK***, 20-24 (1994).

Thangiah, S.R., Vinayagamoorthy, R., Gubbi, A.V., "Vehicle routing with time deadlines using genetic and local algorithms", ***Proceedings of the Fifth International Conference on Genetic Algorithms***, Los Altos, 506-515 (1993)

Toth, P., Vigo, D., "An exact algorithm for the vehicle routing problem with backhauls", ***Transportation Science***, 31: 372-385 (1997).

Toth, P., Vigo, D., "An overview of vehicle routing problems", Editorler: Toth, P., Vigo, D., ***SIAM***, Philadelphia, 1-26 (2002).

Wee Kit, H., Chin, J., Lim, A., "A hybrid search algorithm for the vehicle routing problem with time windows", ***International Journal on Artificial Intelligence Tools***, 10(3): 431-449 (2001).

Yano, C.A., Chan, T.J., Richter, L.K., Cutler, L., Murty, K., McGettigan, D., "Vehicle routing at quality stores", ***Interfaces***, 17: 52-63 (1987).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : ÇETİNKAYA Cihan
Uyruğu : T.C.
Doğum Tarihi ve Yeri : 30/06/1984 Malatya
Medeni Hali : Bekâr
Telefon : 0505 666 22 65
e-mail : cihancetinkaya1903@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Kara Harp Okulu	30.08.2006
Lise	Maltepe Askeri Lisesi	30.06.2002

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2006-2008	J.Loş.K.lığı ANKARA	Silah Yenileme Ks.A.
2008-Halen	J.Loş.K.lığı ANKARA	İş Plan Kontrol Ks.A.

Yabancı Dil

İngilizce, Bulgarca

Hobiler

Futbol, Sinema