



**KAPASİTELİ KIRSAL ÇİNLİ
POSTACI PROBLEMİ VE BİR UYGULAMA**

Ecenur ALİOĞULLARI

**Yüksek Lisans Tezi
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YILMAZ
Doç. Dr. Nezir AYDIN**

2019

Her Hakkı Saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KAPASİTELİ KIRSAL ÇİNLİ POSTACI PROBLEMİ VE BİR
UYGULAMA**

Ecenur ALİOĞULLARI

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ERZURUM
2019**

Her Hakkı Saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

KAPASİTELİ KIRSAL ÇİNLİ POSTACI PROBLEMİ VE BİR UYGULAMA

Dr. Öğretim Üyesi Mustafa YILMAZ danışmanlığında, Doç. Dr. Nezir AYDIN eş danışmanlığında, Ecenur ALİOĞULLARI tarafından hazırlanan bu çalışma 30/10/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak ~~oybirliği/oy çokluğu~~ (.../...) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Burak ERKAYMAN

İmza :

Üye : Doç. Dr. Kadri Vefa EZİRMİK

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YILMAZ

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Erdem AKSAKAL

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hamid YILMAZ

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun 31 / 10 / 2019 tarih ve 42 / 30 nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirilerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KAPASİTELİ KIRSAL ÇİNLİ POSTACI PROBLEMİ VE BİR UYGULAMA

Ecenur ALİOĞULLARI

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Mustafa YILMAZ
Eş Danışman: Doç. Dr. Nezir AYDIN

Kapasiteli Çinli postacı problemi (KÇPP), ayrıt rotalama problemlerinden (ARP) biri olan Çinli postacı probleminin (ÇPP) bir türüdür. KÇPP, belirli bir araç kapasitesiyle depo düğümünden başlayıp tekrar depo düğümünde turun tamamlanması esasına dayanmaktadır. Bu hedefe ulaşılmasının yanı sıra aynı zamanda ağ üzerinde en kısa tur mesafesi de hedeflenmektedir. Günümüzde en kısa yol ve en az maliyetle taşıma yapılmasına yönelik geliştirilen matematiksel model ve yöneylem yaklaşımları her geçen gün önemini artırmaktadır. Özellikle kar küreme, yol tuzlama, çöp toplama ve devriye gezen güvenlik araçlarının rotalanması gibi uygulama alanları mevcuttur. Bu çalışmada Kapasiteli kırsal ÇPP olarak adlandırılan ve en kısa yol uzunluğunu bulmayı amaçlayan bir problem türü ele alınmıştır. Önerilen matematiksel model GAMS 22.5 paket programı kullanılarak çözülmüş ve sonuçları raporlanmıştır. Çalışmanın ikinci kısmında Matlab R2017a programlama dili ile kodlanan Genetik Algoritma (GA) yaklaşımı ele alınmıştır. Genetik Algoritmadan elde edilen sonuçların iyi performansta olduğu tespit edilmiştir.

2019, 118 sayfa

Anahtar Kelimeler: Ayrıt Rotalama Problemi, Çinli Postacı Problemi, Kapasiteli Çinli Postacı Problemi, Kırsal Postacı Problemi, Genetik Algoritma

ABSTRACT

Master Thesis

THE CAPACITATED CHINESE POSTMAN PROBLEM AND AN APPLICATION

Ecenur ALİOĞULLARI

Ataturk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Industrial Engineering

Supervisor: Assit. Prof. Dr. Mustafa YILMAZ
Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Nezir AYDIN

The capacitated Chinese postman problem (CCPP) is a type of Chinese postman problem (CPP), which is one of the arc routing problems. CCPP is based on starting from the storage node with a certain vehicle capacity and completing the tour again in the storage node. At the same time, the shortest way distance on the network is aimed. Nowadays, the mathematical models and operations research developed for transporting with the shortest way and the least cost are increasing its importance every passing day. In particular, there are application areas such as snow plowing, road salting, garbage collection, routing of security patrol vehicles. In this study, a type of problem called the rural capacitated Chinese Postman problem with the aim of finding the shortest way length is introduced. The proposed mathematical model is solved using the GAMS 22.5 programming solver and the results are reported. In the second part of the study, the Genetic Algorithm (GA) approach coded with Matlab R2017a programming language is discussed. Genetic Algorithm results were found to be good performance

2019, 118 pages

Keywords: Arc Routing Problem, Chinese Postman Problem, Capacitated Chinese Postman Problem, Rural Postman Problem, Genetic Algorithm

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince destek ve yardımları için Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YILMAZ’a, Doç. Dr. Nezir AYDIN’a ve her zaman yanımda olup maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ecenur ALİOĞULLARI

Ekim, 2019



İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	16
3.1. Rotalama Problemleri.....	16
3.1.2. Düğüm Rotalama Problemleri.....	18
3.1.2.a. Gezgin Satıcı Problemi.....	18
3.1.3. Ayırıt Rotalama Problemi.....	19
3.2. Çinli Postacı Problemleri.....	20
3.2.1. Çinli Postacı Probleminin Genel Formülasyonu	22
3.2.2. Çinli Postacı Problemi Çeşitleri	23
3.2.2.a. Yönsüz Çinli Postacı Problemi.....	23
3.2.2.b. Yönlü Çinli postacı problemi	24
3.2.2.c. Karma Çinli postacı problemi.....	24
3.2.2.d. k-Çinli postacı problemi.....	24
3.2.2.e. Hızlı Postacı Problemi – (Windy Postman Problem)	25
3.2.2.f. min-max k - Çinli postacı problemi	25
3.2.2.g. Hiyerarşik Çinli postacı problemi	26
3.3. Kırsal Postacı Problemi	26
3.4. Kapasiteli Ayırıt Rotalama Problemi	27
3.4.1. Karp – matematiksel model.....	29
3.5. Kapasiteli Çinli Postacı Problemi.....	31
3.6. Genetik Algoritma.....	32
3.6.1. Genetik Algoritmanın Temel Kavramları	33
3.6.2. Genetik Algoritma Akış Şeması.....	34

3.6.3. Kromozomların Kodlanması	35
3.6.4. Genetik operatörler.....	37
3.6.4.a. Seçim (yeniden üretme, seleksiyon) operatörü.....	37
3.6.4.b. Çaprazlama operatörü.....	38
3.6.4.c. Mutasyon operatörü.....	40
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	42
4.1. Problem Tanımı	42
4.2. Uygulama	46
4.3. Kapasiteli Kırsal Çinli Postacı Problemi İçin Geliştirilen Matematiksel Model	47
4.4. GAMS Model Sonuçları.....	49
4.4.1. Aziziye ilçesi	49
4.4.2. Palandöken ilçesi.....	51
4.4.3. Yakutiye ilçesi.....	60
4.5. Önerilen Genetik Algoritma Yaklaşımı ve Sayısal Sonuçları.....	76
4.5.1. Genetik algoritmanın performansı.....	83
4.5.2. Palandöken ilçesi.....	85
4.5.3. Yakutiye ilçesi.....	95
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	107
KAYNAKLAR	110
EKLER.....	116
EK 1.....	116
EK 2.....	117
ÖZGEÇMİŞ	119

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Yönlü çizgedeki ayrıtlar sayısı
C_{ij}	(i,j) ayrıtının maliyeti
c_{ij}	i düğümünden j düğümüne olan ayrıtların mesafesi
d_{ij}	i düğümünden j düğümüne olan uzunlukların matrisi
E	Yönsüz çizgedeki ayrıtlar sayısı
$G=(V,E)$	V düğümler E ayrıtlardan oluşan bir ağ
i,j	Düğümmler
k	Araç indisleri
K	Araçlar kümesi
m	Araç sayısı
M	Büyük bir sayı
N	Ağdaki düğümlerin sayısı
n	Düğüm sayısı
N	Popülasyon sayısı
p	Tuzlanacak yolların sayısını belirten parametre
Q	Aracın alacağı tuz miktarı
q_{ij}	(i,j) ayrıtının talep değeri
R	Gezilmesi gereken ayrıtlar kümesi
S	V' kümesinin herhangi bir alt kümesi
$S^{\sim}$	S kümesinin tümleyen kümesi $V \setminus S$
t_{ik}	i düğümüne k aracının gelip gelmediğini gösteren değişken
t_{sk}	Sıkı ya da gevşek değişken
u	Kenar ve düğümlerden geçen pozitif maliyetli ağırlık fonksiyonu
u_{sk}	Sıkı ya da gevşek değişken
V	Düğümmler kümesi
V'	Depo düğümü hariç düğüm kümesi
W	Tuzlanması gerekli olan yolların oluşturduğu matris
x_{ij}	i düğümünden j düğümüne dolaşan tüm ayrıtların sayısı
y_{ijk}	i düğümünden j düğümüne k aracı ile geçiş sağlayan değişken

α Metre kare başına harcanması gerekli olan kg cinsinden tuz miktarı

Kısaltmalar

ARÇP	Araç rotalama problemi
ARP	Ayrıt rotalama problemi
ÇPP	Çinli postacı problemi
GA	Genetik algoritma
GSP	Gezgin satıcı problemi
KARP	Kapasiteli ayrıt rotalama problemi
KÇPP	Kapasiteli Çinli postacı problemi
KPP	Kırsal postacı problemi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Königsberg Köprü Problemi.....	17
Şekil 3.2. Euler turu için ağ gösterimi	17
Şekil 3.3. Genetik algoritma akış şeması	34
Şekil 3.3. Ağaç kodlama örneği.....	36
Şekil 3.4. Rulet tekerleği örneği	38
Şekil 3.5. Tek noktalı çaprazlama.....	39
Şekil 3.6. Çift noktalı çaprazlama.....	39
Şekil 3.7. Pozisyona dayalı çaprazlama	40
Şekil 3.8. Parçalı (Kısmi) çaprazlama.....	40
Şekil 3.9. Mutasyon işlemi	41
Şekil 4.1. Erzurum Büyükşehir Belediyesinin Yakutiye ve Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar.....	46
Şekil 4.2. Aziziye ilçesindeki tuzlama yapılan yollar.....	50
Şekil 4.3. 1. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	51
Şekil 4.4. 2. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	51
Şekil 4.5. 3. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	52
Şekil 4.6. 4. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	53
Şekil 4.7. 5. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	53
Şekil 4.8. 6. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	54
Şekil 4.9. 7. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	55
Şekil 4.10. 8. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	55
Şekil 4.11. 9. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	56
Şekil 4.12. 10. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	57
Şekil 4.13. 11. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	57
Şekil 4.14. 12. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	58
Şekil 4.15. 13. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	59
Şekil 4.16. 14. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	59
Şekil 4.17. 1. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	60
Şekil 4.18. 2. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	61

Şekil 4.19. 3. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	62
Şekil 4.20. 4. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	63
Şekil 4.21. 5. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	64
Şekil 4.22. 6. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	65
Şekil 4.23. 7. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	66
Şekil 4.24. 8. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	67
Şekil 4.25. 9. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	68
Şekil 4.26. 10. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	69
Şekil 4.27. 11. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	70
Şekil 4.28. 12. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	71
Şekil 4.29. 13. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	72
Şekil 4.30. 14. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	73
Şekil 4.31. 15. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	74
Şekil 4.32. 16. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	75
Şekil 4.33. Palandöken ilçesi için GA grafik gösterimi.....	82
Şekil 4.34. Yakutiye ilçesi için GA grafik gösterimi.....	83
Şekil 4.35. 1. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	85
Şekil 4.36. 2. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	86
Şekil 4.37. 3. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	86
Şekil 4.38. 4. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	87
Şekil 4.39. 5. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	88
Şekil 4.40. 6. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	89
Şekil 4.41. 7. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	89
Şekil 4.42. 8. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	90
Şekil 4.43. 9. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	91
Şekil 4.44. 10. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	91
Şekil 4.45. 11. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	92
Şekil 4.46. 12. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	93
Şekil 4.47. 13. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	93
Şekil 4.48. 14. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	94
Şekil 4.49. 1. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	95
Şekil 4.50. 2. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	96

Şekil 4.51. 3. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	96
Şekil 4.52. 4. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	97
Şekil 4.53. 5. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	98
Şekil 4.54. 6. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	99
Şekil 4.55. 7. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	99
Şekil 4.56. 8. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	100
Şekil 4.57. 9. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	101
Şekil 4.58. 10. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	102
Şekil 4.59. 11. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	102
Şekil 4.60. 12. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	103
Şekil 4.61. 13. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	104
Şekil 4.62. 14. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	105
Şekil 4.63. 15. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	105
Şekil 4.64. 16. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar	106

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. İkili kodlama örneği.....	35
Çizelge 3.2. Permütasyonlu kodlama örneği	36
Çizelge 3.3. Değer kodlama örneği.....	36
Çizelge 4.1. Aziziye ilçe belediyesi sınırları içinde tuzlama yapılan ve gidilen tüm yolların uzunluklar matrisi	43
Çizelge 4.2. Palandöken ilçe belediyesi sınırları içinde tuzlama yapılan ve gidilen tüm yolların uzunluklar matrisi	44
Çizelge 4.3. Yakutiye ilçe belediyesi sınırları içinde tuzlama yapılan ve gidilen tüm yolların uzunluklar matrisi	45
Çizelge 4.4. GA yaklaşımı için faktör ve faktörlerin düzeyleri.....	79
Çizelge 4.5. Aziziye ilçesi için GA sonuçları	81
Çizelge 4.6. Palandöken ilçesi için GA sonuçları.....	81
Çizelge 4.7. Yakutiye ilçesi için GA sonuçları.....	82
Çizelge 4.8. Gams ve GA sonuçlarının karşılaştırılması	84
Çizelge 4.9. Palandöken ilçesinin küçük boyutlu problemi için oluşturulan örneğin sonuçları	84

1. GİRİŞ

Günümüzde ulaşım, alt yapı, iletişim ve taşımacılık gibi sektörlerde olan önemin artmasından dolayı, kentlerdeki hizmet çizgilerinin iyileşmesi için geliştirilen matematiksel model yaklaşımları ve yöneylem araştırmasına yönelik çalışmalar artmaktadır. Gerek kamu kuruluşlarında, gerekse özel sektörlerde taşımacılığa verilen önem her geçen gün büyümektedir. Üretim yapan bir işletmedeki bir ürünün en kısa yol ve en az maliyetle gerekli yere ulaştırılması taşımacılığa örnek olarak verilebilir. Benzer şekilde, kamu kuruluşlarında da, hizmet veren bir belediyenin çöpleri toplaması, elektrik dağıtımını yapması ya da kışın yolların buzlanması esnasında yaptığı kar temizliği ve tuzlama çalışmaları bu konuda verilebilecek taşıma örneklerindendir. Rekabet halinde olan işletmeler düşünüldüğünde, daha az maliyetle ve daha kısa yoldan gerekli yerlere hizmet verebilmek için geliştirilen Araç rotalama problemi (ARÇP) ya da Çinli postacı problemi (ÇPP) gibi rotalama problemlerini örnek verebiliriz.

Rotalama problemleri ikiye ayrılır. Bunlar; Düğüm rotalama ve ayrıt rotalama problemleridir (ARP).

Düğüm rotalama probleminde; sadece düğümlere uğranarak en kısa turun bulunması sağlanmaktadır. Düğüm rotalama problemine Gezgin satıcı problemi (GSP) örnek verilebilir. GSP, çizgede bulunan düğümlerden yalnızca bir kez geçerek en kısa tur uzunluğunun bulunması esasına dayanmaktadır

ARP bir çizgedeki araçların tur boyunca ziyaret edilmesi gereken yerleri ziyaret ederek bir dizi kenar tarafından belirlenen bütün rotalama problemlerinin genel tanımıdır. ARP'nin farklı biçimleri mevcuttur.

ÇPP, ağdaki tüm yolları kapsayan en kısa postacı turunun bulunmasıdır. ÇPP'de, bütün ayrıtlardan en az bir kez geçerek başladığı noktaya tekrar geri dönen ve en kısa turun bulunmasını amaçlayan rotalama problemidir.

ÇPP; yönlü çizgeye (her bir ayrıt için herhangi bir yönden geçilemez) ve yönsüz çizgeye (her bir ayrıt için herhangi bir yönden geçilebilir) sahip ağlarda polinom zamanında çözülebilir, ancak karma ağlara sahip (yani bazı ağlar yönlü, bazı ağlar yönsüz) karma Çinli postacı problemi, NP- zor sınıfına dahil bir problemidir (Pearn and Chou 1999). Yine başka bir tanıma göre; ÇPP, her kenarın en az bir kez geçileceği en kısa turu bulma problemidir. Dolayısıyla, bir postacının karşılaştığı bir çizgede, her bir kenar boyunca posta teslim edilmeli ve tekrar başlangıç noktasına geri dönülmelidir (Edmonds and Johnson 1973). ÇPP’de bir çizge verildiğinde, çizgedeki her bir ayrıtı en az bir kez geçen minimum toplam mesafe çevrimini belirlemek amaçlanmaktadır (Hertz and Mittanz 2001).

Bu çalışmada kapasiteli Çinli postacı problemi (KÇPP) ve kırsal postacı problemi (KPP) ele alınmıştır. KÇPP’de; belirli sayıdaki aracın, belirli bir kapasite ile belirlenen ayrıtlardan en az bir kez geçerek o ayrıtlara servis verdiği, en kısa turun bulunması problemidir. KÇPP’de; araçlar bütün ayrıtlardan geçip, başlangıç noktasına tekrar geri dönerek turlarını tamamlamaktadır. KPP, sadece belirli ayrıtlardan en az bir kez geçerek, başlangıç noktasına tekrar geri dönmektedir. Her iki problem türü de, en iyi tur rotasını bulmayı amaçlayan rotalama problemleridir.

Bu çalışmanın uygulama aşamasında, Erzurum Büyükşehir Belediyesi’nin kışın yolların buzlanması esnasında yaptığı tuzlama çalışması ele alınmıştır. Bu çalışmanın amacı ise, Erzurum Büyükşehir Belediyesi’nin yetki ve sorumluluğunda olan Aziziye ilçesi, Palandöken ilçesi ve Yakutiye ilçesinde kışın yolların buzlanması esnasında yapılan tuzlama çalışması için, araçların yol güzergâhlarının belirlenmesi ve en iyi tur rotalarının çıkarılmasıdır.

Çalışmanın ikinci bölümünde; ÇPP, ARP ve KPP ile ilgili yapılmış çalışmalara yer verilerek çalışmanın amaç ve kapsamı kaynak özetlerinde belirtilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde; rotalama problemlerinin genel tanımları ve çeşitleri, Euler turu, Königsberg köprü problemi, KPP ve GSP anlatılmıştır. Aynı zamanda

rotalama problemlerinden ARP ve ÇPP detaylı şekilde anlatılmıştır. Yine bu bölümde, GA yaklaşımı ele alınarak, bu yaklaşımın genel özellikleri ve tanımlarından bahsedilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde; Erzurum Büyükşehir Belediyesinin kışın yaptığı yol tuzlama çalışmasında yetki ve sorumluluğunda olan 3 ilçenin (Yakutiye, Aziziye ve Palandöken) yaptığı tuzlama çalışması için araştırma bulgularına yer verilerek, en iyi tur rotaları çıkarılmış, GAMS 22.5 ve Matlab 2017’de GA ile kodlanan programının sonuçları ve tur rotaları verilmiştir.

Çalışmanın beşinci ve son bölümünde ise, konuya ilişkin sonuçlar kısaca özetlenerek, önerilerde bulunulmuştur.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde ARP, ÇPP ve KPP ile ilgili yapılmış çalışmalara yer verilmiştir.

Pandi and Muralidharan (1995) karma bir ağın belirtilen bölümler boyunca belirli bir kapasiteyle oluşturduğu rotalama problemini, kapasiteli genel rotalama problemi ismi ile ele almışlardır. Problem için sezgisel yöntem yaklaşımını önermiş ve sonuçları analiz etmişlerdir.

Pearn and Chou (1999) çalışmalarında karma ağlardaki ÇPP için sezgisel yöntemleri içeren dört tane algoritma incelemişlerdir. Bu algoritmalar, karma-1, karma-2, değiştirilmiş karma-1 ve değiştirilmiş karma-2 algoritmalarıdır. Bu 4 algoritma ile problemin çözümünün bulunması amaçlanmıştır. Karma-1 ve karma-2 algoritmalarını, mevcut çözüm algoritmalarıyla test etmiş ve karşılaştırılmışlardır. Problem FORTRAN programlama dili ile kodlanmıştır. Bu sonuçlara göre, önerilen yöntemlerin mevcut çözümleri büyük ölçüde geliştirdiği tespit edilmiştir.

Amberg *et al.* (2000) çalışmalarında çoklu merkezli KARP için tabu arama algoritmasını ele almışlardır. Aynı zamanda minimum yayılım ağacı ile sezgisel bir yaklaşım ortaya koyularak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Corberan *et al.* (2002) GRASP “greedy randomized adaptive search procedure” tekniklerini temel alan karma ÇPP için sezgisel bir algoritma sunmuşlardır. Algoritma, 200'den fazla düğüm ve 600 bağlantıyı içeren ve rasgele üretilen 225 örnek üzerinde test edilmiş ve en iyi sezgisel algoritma yöntemini bulmak için literatürdeki örneklerle ve yöntemlerle karşılaştırmalar yapılmıştır. Hesaplanan alt sınır değeri ile optimal sonuca nispeten yakın bir değer ortaya çıkarılmıştır. Bu alt sınır değeri, Nobert and Picard (1991) tarafından önerilen ve kesin sonuçlara eş değer bir kesme düzlemi algoritması kullanılarak elde edilmiştir. Hesaplama sonuçlarına göre, GRASP tekniği çalışmadaki

diğer tekniklere göre daha iyi sonuç vermiş olup, tüm örneklerdeki alt sınır değerine yakın bir değer üretmiştir.

Beullens *et al.* (2003) çalışmalarında KARP için yeni bir yerel arama algoritması sunmuşlardır. Literatürdeki standart kıyaslama problemleri üzerine yaptıkları deneylerde, KARP için geliştirilen algoritmanın mevcut sezgiselden daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuşlardır.

Belenguer and Benavent (2003) KARP için geçerli yeni eşitsizlikler denklemi geliştirmişlerdir. Aynı zamanda bu problem için kesme düzlemi algoritması kullanmışlardır. Bu çalışma, mevcut 3 algoritma üzerinde test edilmiş ve sonuçları iyi performans göstermiştir.

Hua and Shan (2003) çalışmalarında karma ağlardaki ÇPP için genetik algoritma yaklaşımını ele almışlardır. Çalışmadaki mevcut rotayı iyileştirmiş ve sonuçların iyi performansta olduğunu ortaya çıkarmışlardır.

Thimbleby (2003) yaptığı çalışmada, ÇPP'nin geniş uygulama alanlarını gözden geçirmiş ve yönlü çizgeleri çözmek için tam ve çalıştırılabilir bir JAVA kodu göstermiştir. Aynı zamanda çalışmasında “Açık uçlu ÇPP” adlı bir varyasyon tanıtmış olup problemi JAVA çözücü ile çözmüştür.

Amponsah and Salhi (2004) geliştirmekte olan ülkelerdeki çöp toplama uygulaması için KARP'a yapıcı bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Bu algorithmada çevresel etkisi olan (Örneğin, havanın sıcak olması çöp toplama sürecini etkilemektedir. Burada hava sıcaklığı çevresel etkidir) ve çevresel etkisi olmayan ve aynı zamanda maliyeti de dikkate alan bir prosedür ele alarak sonuçları test etmişlerdir.

Emel vd (2004) çalışmalarında yönsüz ÇPP'nin genel kavramlarından ve çözüm yöntemlerinden bahsederek, bu konudaki literatür çalışmalarına katkıda bulunmuşlardır. Bu çalışmanın bir sonraki aşamasında ise Bursa'da 10 mahalli bölgedeki polis devriye

araçları için en iyi tur rotalarının bulunmasını amaçlamışlardır. Modelin çözümü için en kısa mesafeli eşleştirme yöntemi kullanarak en iyi rotayı belirlemişlerdir.

Groves and Vuuren (2005) yaptıkları çalışmada yönsüz KPP için yerel bir arama algoritması göstermişlerdir. Bu çalışmada, GSP'ye başarıyla uygulanan aynı zamanda rotaları optimize etmek için de kullanılabilen ve yerel arama algoritmasının KPP'ye uygulanmasına olanak vermişlerdir. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde ise, KPP için yeni sezgisel yöntemleri tanıtmışlardır. Önerilen sezgisel yöntem, KPP'nin büyük boyutlu örneklerini çözebilmiştir. Test sonuçlarında, bilinen metotların çözüm kalitesini ve etkinliğini karşılaştırmak için bir dizi rapor sunmuşlardır.

Mourao and Amado (2005) Lizbon'da evsel atıkların toplanması problemine dayanan KARP için karma ağlarda uygun çözümler üreten yeni bir yol arama sezgisel yöntemini (path scanning) sunmuşlardır. Sonuçlar önerilen sezgisel yöntemin iyi performansta olduğunu ortaya koymuştur.

Osterhues and Mariak (2005) k – Çinli postacı problemini ele alan bu çalışmada, 3 farklı amaç belirtmişlerdir. Bunlar şu şekildedir: İzin verilen hizmet süresinden tüm sapmalar toplamının en aza indirgenmesi ve her bir postacı için fazla mesailer toplamının en aza indirgenmesidir. Min- max k-ÇPP'ye benzer şekilde; modeldeki değişkenler postacıların işlerinin dengelenmesini sağlamaktadır. Osterhues and Mariak (2005) çalışmalarında, çizgedeki bir kenara servis veren ve servis vermeden dolaşan farklı maliyetleri atamışlardır. Daha sonra, KPP'yi kullanarak postacılara 10 farklı kenarı tahsis etmişlerdir ve makalenin çözümü için dal sınır algoritmasını önermişlerdir. 25'den az kenarlara sahip olan örnekler için optimal ve optimale yakın çözümler bulmuşlardır.

Aminu and Eglese (2006) zaman kısıtıyla birlikte çalışan ÇPP'yi modellemişlerdir ve sonuçları 69 düğüme kadar olan problem için rapor etmişlerdir. Bu makalede, iki farklı formülasyon önermişlerdir. Birinci formülasyon, problemi doğrudan ele alır ve ikincisi, problemi zaman kısıtıyla eşdeğer bir ARÇP'ye dönüştürür. Çalışmada zaman kısıtı daha az olduğunda, en uygun çözümlerin hızlı bir şekilde çözülebileceği gösterilmiştir.

Bununla beraber zaman kısıtının daha geniş olması ve uygun çözümlerin artmasıyla, problemin optimal çözümünü bulmak daha fazla zaman almaktadır. Sonuçlar ayrıca, çizgenin büyüklüğü ve sıklığına göre en uygun çözümü bulmak için gerekli olan hesaplama süresinin nasıl etkilendiğini de göstermektedir.

Ahr and Reinelt (2006) yaptıkları çalışmada min-max k-ÇPP için tabu arama algoritmasını ele almışlardır. Çalışmanın sonucunda, tabu arama algoritmasının bilinen tüm sezgisel yöntemlerden ve geliştirilen prosedürlerden daha iyi performans gösterdiğini ortaya çıkarmışlardır.

Cherif (2006) çalışmasında KARP'ı zaman kısıtı ile genişletmiştir. Aynı zamanda bu çalışmada KARP'ı zaman penceresi kısıtlamaları ile çözebilecek yeni bir Memetik algoritma gösterilmiştir.

Kokubugata *et al.* (2006) çalışmalarında doğru teslimat işlemleriyle ilişkili yeni bir KARP çözümü geliştirmişlerdir. Çalışmada veri modellemesi ve basit optimizasyon prosedürü ile analiz edilen tavlama benzetim algoritmasını kullanmışlardır. Önerilen yöntemin kısıtlara ve problemin amacına uyarlanabilir olduğunu ortaya çıkarmışlardır.

Lacomme *et al.* (2006) çok amaçlı KARP için GA'ya yer vermişlerdir. Çalışmanın ilerleyen kısımlarında, baskın olmayan sıralanmış GA türüyle beraber yerel arama sezgisel algoritmasını ele almışlardır. Bu çalışmanın sonucunda, 81 diziden oluşan 3 farklı KARP için karşılaştırmalar ve değerlendirmeler yapmışlardır. Aynı zamanda yapılan tespitlere göre; tek amaçlı problemler için herhangi bir GA ya da memetik algoritmanın, çok amaçlı problemler için de aynı şekilde genelleştirilebildiğini ileri sürmüşlerdir.

Masuyama *et al.* (2006) çalışmalarında ortagonal çaprazlama tekniğini kullanan GA yaklaşımıyla karma ÇPP'yi çözmüşlerdir. Sonuçlar küçük boyutlu problemlere sahip ve makul sayıdaki nesiller için optimale yakın çözümlere ulaşıldığını göstermiştir. Bununla

birlikte ortogonal tasarıma sahip GA, basit genetik algoritmaların neredeyse hiç çözüm bulamadığı grafik ölçekleri için bile daha iyi performans gösterdiğini ortaya çıkarmıştır.

Amaya *et al.* (2007) çalışmalarında dolum noktalarına sahip KARP'ı ele almışlardır. Problem toplam maliyeti en aza indirmeye ve araç rotalarını eşzamanlı olarak belirlemeye dayanmaktadır. Bu problemin çözümü için tam sayılı doğrusal programlama modeli önermiş ve test etmişlerdir.

Brandao and Eglese (2008) yaptıkları çalışmada, KARP için deterministik bir tabu arama algoritması geliştirmiş ve çeşitli kıyaslama örnekleri üzerinde test etmişlerdir. Hesaplanan sonuçlara göre, önerilen algoritmanın makul bir hesaplama süresi içinde yüksek ve kaliteli sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir.

Benavent *et al.* (2009) çok araçlı min-max hızlı KPP'yi incelemişlerdir. Taşıtlar için dengeli bir tur rotası bulmak için en uzun tur süresini en aza indirmeyi amaçlayan bu problemde, tam sayılı bir programlama formülasyonu geliştirmişlerdir. Bu problemde kesme düzlemi algoritmasını kullanmışlardır. Aynı zamanda sonuçları büyük bir örnek seti üzerinde test etmişlerdir.

Christiansen *et al.* (2009) yaptıkları çalışmada stokastik taleplere sahip KARP'ı ele almışlardır. Ele alınan bu problemi grafik dönüşümleri kullanmadan, kesme düzlemi algoritması yardımıyla çözmüşlerdir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgulara göre, talebin stokastik yapısı fiyatlandırma problemi ile ele alınmıştır.

Kirlik (2009) çalışmasında, yeni bir KARP türünü tanıtmıştır. Gezgin robotlardaki çok boyutlu ve algılayıcı tabanlı ortam kapsanması problemi ile yeni bir KARP türünü karşılaştırmıştır. Yeni KARP çözümü için Ulusoy algoritması ve sezgisel algoritmalarından yardım almıştır ve çalışmanın ilerleyen kısımlarında ise değiştirilmiş Ulusoy Algoritma yöntemini ele almıştır. Çalışmanın sonucunda ise, 90 düğümlü ve 9 robota kadar hem gerçek ortamda hem de MobileSim simülasyon ortamında deneyler gerçekleştirmiştir.

Afsar (2010) çalışmasında esnek zaman aralığına sahip KARP'ı incelemiştir. Bu çalışmada sütun oluşturma algoritması ve Dantzing – Wolfe ayrıştırma analizini kullanmıştır. Çalışmanın sonunda, problemi seyahat ve servis zamanları ve maliyetlerin asimetrik olduğu daha genel bir durum için genişletmiştir.

Moreira and Ferreira (2010) çalışmalarında yönsüz KPP'yi GA ile ele almışlardır. KPP ile ilgili daha önceki yayınlarda yapılan çalışmalar incelenerek sonuçlar kıyaslanmıştır. Sonuç olarak GA'nın diğer sezgisellere nazaran daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir.

Muyldermans and Pang (2010) KARP için yerel arama algoritmasını ele almışlardır. Bu çalışmada ürün sayısı, araç kapasitesi, deponun yeri ve gerekli olan kenarlar için ürün talebini içeren bir problem incelemiştir.

Tagmouti *et al.* (2010) yaptıkları çalışmada, zamana bağlı hizmet maliyetleriyle birlikte, KARP'ı çözmek için değişken komşu arama sezgisel yöntemini önermişlerdir. Problemin çözümü için klasik KARP örneklerinden türetilen bir sonuç elde etmişlerdir.

Vansteenwegen *et al.* (2010) çalışmalarında zaman pencereli KARP için yerel arama meta sezgisel yöntemini kullanmışlardır. Mobil haritalama araç problemini, ARÇP'ye dönüştürerek çözmüşlerdir. Daha sonra meta sezgisel yöntem önermiş ve test etmişlerdir. Sonuçların gerçek hayattaki uygulamalar üzerinde nasıl etkili olduğunu ortaya çıkarmışlardır.

Usberti *et al.* (2011) açık uçlu KARP için yeni bir tam sayılı doğrusal programlama modeli oluşturmuşlardır. KARP için literatürdeki birkaç başarılı yol arama sezgisel örnekleriyle kıyaslamalar yapmış ve sonuçları test etmişlerdir. Hesaplanan testleri 411 örnek setinde uygulamışlardır ve araç sayısının sıklığına göre üç sınıfa ayırmışlardır. Sonuçlar 133 örnek için optimallik şartını sağlamaktadır.

Özdemir vd (2011), çalışmalarında şehir içi hizmet dağılım ağlarının en uygun ve en kısa tur rotasını bulmak için GSP ve ÇPP'yi ele almışlardır. Orta (kablolu tv dağıtımı, ara

bölge hatları gibi) ve küçük (kentsel çöp toplama gibi) ölçekli kent yerleşimi için en kısa yolu, en düşük maliyeti ve en iyi çizgeyi içeren bir çözüm oluşturmuşlardır. Çalışmanın uygulama kısmında bu problemi ilk olarak elle sonra bir bilgisayar programı ile çözmüşlerdir.

Zachariadis and Kiranoudis (2011) çalışmalarında yönsüz KARP için hiyerarşik amaçlı bir fonksiyon geliştirmişlerdir. Çalışmanın öncelikli amacı, toplam karı en üst seviyeye çıkaran bir rota güzergâhını belirlemektir. İkinci amaç ise, oluşturulan rota güzergâhının gerektirdiği toplam seyahat süresini en aza indirmektedir. Oluşturulan rotalar, hem kapasiteye hem de azami seyahat süresi kısıtlamalarına uygun olması gerekmektedir. Bunun için NP-zor kombinasyonel optimizasyon (kombinasyonel optimizasyon, karar değişkenlerinin kesikli olmasını ifade etmektedir) problemi için geliştirilen meta sezgisel yerel arama algoritması önermişlerdir. Önerilen meta sezgisel yöntem yaklaşımı, 204 karşılaştırma örneğiyle test edilmiş ve kısıtlı zaman süresi içinde bilinen problemleri çözmeyi başarmıştır.

Huang and Lin (2012) Tayvan'da yaptıkları çalışmalarında, düz yol projesinin zaman aralığı kısıtlı modelini KARP ile çözmüşlerdir. Araştırma sonucunda, yeni bir algoritma oluşturulmuş ve bu algoritmanın daha önce kullanılan yöntemlere göre daha verimli olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Bu problemi sezgisel yöntemlerden biri olan karınca kolonisi optimizasyonu ile çözmüşlerdir.

Zhang and Peng (2012) belirsiz ağlardaki ÇPP için üç tür optimal tur modeli oluşturmuşlardır. Bunlar: Beklenen en iyi tur, en iyi tur ve en uygun dağılım turudur. Bu makalede belirsizlik teorisi, belirsiz ağlardaki ters belirsizlik dağılımını karakterize etmek için kullanılmıştır. Belirsizlik teorisi altında bu modeller, deterministik biçimlere dönüştürülerek Dijkstra ve Fleury algoritması ile çözüm bulunmuştur.

Archetti *et al.* (2013) KPP'yi ele aldıkları bu makalede, bir araçla bir dizi müşteriye hizmet etmek ve bazı müşterilerin hizmetini dış kaynak ile almak zorunda kalan bir nakliyecinin karşılaştığı problemi incelemişlerdir. Bu problemin amacı, seyahat

masraflarının toplamını (yönlendirme maliyetleri) ve dış kaynağa bağlı müşterilerle ilişkili maliyetleri (ceza maliyetleri) en aza indirmek amacıyla dış kaynak kullanımına yönelik müşteri grubunu belirlemektir. Bu problem, hizmet verilen müşterilerden kazanılan kâr ile seyahat masrafı arasındaki farkın maksimizasyonu olarak ifade edileceği için bu sorunu doğrudan kârlı KPP olarak adlandırmışlardır. Çalışmanın sonunda, tabu arama şemasını tam sayılı doğrusal programlama modeliyle birleştiren tabu arama algoritmasını önermişlerdir.

Doulabi and Seifi (2013) çok depolu ARP'yi araç kapasitesi kısıtlamaları ile birlikte ele almışlardır. Tekli ve çoklu depo problemleri için iki karma tam sayılı programlama modelini ele almışlardır. KARP'ı çözmek için güçlü bir sezgisel geliştirmişlerdir. Önerilen algoritma iyi performansta sonuç ortaya koymuştur.

Fung *et al.* (2013) çalışmalarında açık uçlu KARP'ı ele almışlardır. Burada problemin amacı, araç kapasitesi ve seyahat mesafesine bağlı olarak verilen çizgeye hizmet verecek bir dizi minimum maliyetli açık rota bulmaya çalışmaktır. Bu programlamayı çözmek için memetik algoritması geliştirmişlerdir. Çalışmanın sonunda, önerilen memetik algoritmanın makul bir hesaplama süresi içinde yüksek kaliteli çözümler ürettiği ve klasik GA'lardan daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya çıkarmışlardır.

Monroy *et al.* (2013) çalışmalarında düzensiz hizmetlere sahip periyodik KARP'ı ele almışlardır. Burada, belirli bir kontrol tarihinde verilen belirli bir ağı kapsayacak bir dizi yolun belirlenmesini amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda, çalışmada sezgisel yöntem ve matematiksel model yaklaşımını ele almışlardır.

Liu *et al.* (2014) KARP'ı bulundukları şehirdeki elektrik hatlarının denetlenmesinde, çöplerin toplanmasında ve yol tuzlanmasında oluşacak sorunları çözmek için kullanmışlardır. KARP için hibrit geçişler (hybrid crossovers), değiştirilmiş komşu arama sezgiseli ve çoklu dizi sırası (multiple sequence alignment) tekniklerini kullanarak memetik bir algoritma oluşturmuşlardır. Buldukları algoritma sonucuna göre belirtilen üç problemin mevcut duruma göre daha iyi sonuçlar ürettiğini tespit etmişlerdir.

Akyurt vd (2015) çalışmalarında kış bakım araçlarının maliyetlerinin ve araç sayılarının azaltılmasına yönelik çoklu depolu k-ÇPP problemini modellemişlerdir. Bu matematiksel model GA ile çözülmüştür. Mevcut sonucu karşılaştırmak için Clarke ve Wright Algoritması ile Sweep algoritması kullanılmıştır.

Avila *et al.* (2015) bu makalede kârlı KPP'yi incelemişlerdir. Burada kârlı KPP'nin çözümü için çok sayıda kıyaslama örneği üzerinde testler yapılmış ve dal kesme algoritması tekniği kullanılmıştır. Elde edilen hesaplama sonuçlarına göre, önerilen algoritmanın 1000 düğüme sahip örnekleri hatta 1500 düğümlü bazı örnekleri bile en iyi şekilde çözebileceğini ortaya çıkarmışlardır.

Eroğlu (2015) çalışmasında tek amaçlı ÇPP'yi ele almıştır. Çalışmadaki bu problemin amacı, toplam seyahat maliyetini en aza indirmektedir. Bu çalışmada toplam maliyet ve toplam mesafe gibi kriterleri esas alan en etkin dal sınır algoritması gösterilmiştir. Algoritmada lineer programlama gevşetim yöntemleriyle en etkin alt ve üst sınırlar kullanılmıştır. Dal sınır algoritma adımları çözüldüğünde, büyük boyutlu problemler için en etkin çözümü ve en etkin süreyi verdiği ortaya çıkmıştır. Karma tam sayılı model için dal sınır algoritması çözüldüğünde, bir saatten kısa bir süre içinde 500 düğüm ve 1300 ayrıttan oluşan etkili büyük boyutlu bir veri seti üretilmiştir.

Limon (2015) tezinde, k-Çinli postacı problemini ele almıştır. Bu tezde, toplam iş yükünü düşük tutan, toplam kareli iş yükünü en azlayan ve postacılar arasındaki iş yükünü dengeleyen bir sistem hedeflenmiştir. Çalışmada, üstselsel ve polinom zamanlarında çalışan, kesin ve yaklaşık çözümler veren yöntemler geliştirilmiştir. Bu çalışmanın uygulama kısmında ilk olarak tam sayılı bir matematiksel model önerilmiştir. Eldeki mevcut eliminasyon kısıtları açıklamak için etkili bir yöntem geliştirilmiştir. Bu kısıtlamalar, ne bir ek karar değişkenine, ne de büyük bir M değerine ihtiyaç duymaktadır. Çalışmanın sonucunda bir saatte yaklaşık 200 ayrıta sahip örneklerin çözüldüğü ortaya çıkmıştır.

Ma *et al.* (2015) çalışmalarında karma ağlardaki yükleme kapasitesi ve çalışma zamanı kısıtlarına sahip Çinli postacı problemini GA ile çözerek etkili ve iyi sonuçlar üretmişlerdir.

Summerfield *et al.* (2015) bir gelir toplama sistemi olarak, Philadelphia ya da New York City gibi kalabalık şehirlerde araçların park bileti (ya da araç park cezası) ve araçların park etme durumlarını incelemişlerdir. Araç park izninin denetleme rotalarını belirlemek için ÇPP modellenmiştir. Makalede, beklenen geliri maksimum yapan araç parkının denetleme rotaları belirlendikten sonra park izin sürelerine göre görevlilerin denetim güzergâhlarının çevrimiçi olarak ayarlamalarına izin veren kurallar araştırılmıştır. Basit bir simülasyon çalışması, problemin parametrelerine göre beklenen gelirlerin hassasiyetini test etmektedir. Yapılan testlerin sonucunda, beklenen gelirin yüzde 10 ile yüzde 69 arasında arttığı görülmüştür.

Wang *et al.* (2015) KARP üzerine yaptıkları çalışmada, ilk olarak kenar seçimi kurallarını açıklamak için sıra numarası ve sıra sayısı kavramları üzerinde durmuşlardır. Daha sonra, problemi tanımlamak için sıra tabanlı komşu arama yöntemini kullanmışlardır. Son olarak bu yöntemler sonucunda elde edilen algoritma 7 test seti üzerinde denenmiş olup, sonuçlar bu algoritmanın iyi performans gösterdiğini ortaya çıkarmıştır.

Chen *et al.* (2016) yaptıkları çalışmada KARP için yeni bir hibrit meta sezgisel yöntemini ele almışlardır. Bu algoritma türünün neredeyse tüm mevcut KARP kıyaslama örnekleri içinde en iyi bilinen sonuçları gösterdiğini ortaya çıkarmışlardır.

Rabbani *et al.* (2016) çalışmalarında çok araca sahip kapasiteli KPP için iki amaçlı karma tam sayılı doğrusal programlama modelini geliştirmişlerdir. Bu problem türü için 2 amaç göz önünde bulundurulmuştur. Birincisi, bütün araç rotalarının toplam maliyetlerini ve araçların boş sefer sayılarını minimum yapmaktır. Diğeri ise, araçların dengeli tur setini oluşturmak için araçların maksimum maliyetini minimize etmektir. Bu problem türü NP-zor olarak kabul edilmiştir ve problemi çözmek için çok amaçlı tavlama benzetimi

algoritması kullanılmıştır. Yapılan 5 farklı kriterli algoritma sonuçlarına göre, en iyi sonucu “Cuckoo arama algoritması” vermiştir.

Zhang *et al.* (2017) Periyodik KARP için memetik algoritma önermişlerdir. Periyodik KARP’ın 2 amacını eş zamanlı olarak minimize etmek için probleme özgü rota ayrıştırma özelliğini kullanmışlardır. Rota ayrıştırmalı memetik algoritması diğer sonuçlar arasında iyi performans ortaya koymuştur.

Arakaki and Usberti (2018) çalışmalarında açık uçlu KARP için bir hibrit genetik algoritma önermişlerdir. Algoritmanın çözümü için, araç kapasitesini göz ardı ederek gerekli ayrıtların dizilimini kodlamışlardır. Bir dizi karşılaştırmalı örnek üzerinde yapılan hesaplama deneyleri, önerilen hibrit genetik algoritmanın hemen hemen tüm örnekler içinde en iyi üst sınırlara ulaştığını ortaya koymaktadır.

Chen and Hao (2018) periyodik KARP için 2 aşamalı hibrit yerel arama algoritmasını ele almışlardır. Problemin her iki aşamasında sezgisel yöntemlerden yerel arama algoritmasını kullanmış ve bilinen en iyi sonuçları üretmişlerdir.

Tirkolaee *et al.* (2018) toplam maliyeti en aza indirmek amacıyla, çok seferli KARP için karma tam sayılı doğrusal programlama geliştirmişlerdir. Problemden ilk olarak, GAMS yazılımının CPLEX çözücüsü tarafından birkaç küçük boyutlu örnek çözülmüştür. Ardından, büyük boyutlu problemleri çözmek için tasarlanan Taguchi parametresini kullanan min - max karınca sistem algoritmasını temel alan hibrit algoritması geliştirmişlerdir. Aynı zamanda, bu algoritmanın yüksek verimlilik gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Tirkolaee *et al.* (2018) kentsel atık toplama işlemi için personelin ve araç sürücüsünün çalışma süresini dikkate alarak periyodik KARP için matematiksel model geliştirmişlerdir. Problemin çözümü için sezgisel yöntemlerden biri olan tavlama algoritması geliştirilmiştir. Önerilen algoritmanın performansı, kesin çözüm yöntemleriyle karşılaştırıldığında kabul edilebilir olduğu kanıtlanmıştır.

Söyler ve Fendoğlu (2019) ele aldıkları problemi Çinli postacı problemi ile modelleyerek GA ve coğrafi bilgi sistemi ile çözmüşlerdir. Her iki uygulama için optimum rotalar ve sonuçlar kıyaslanmıştır.



3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Rotalama Problemleri

Rotalama problemleri, düğüm rotalama ve ayrıt rotalama olmak üzere 2 temel kategoriye ayrılmaktadır. Düğüm rotalama probleminde amaç, bir dizi müşteri düğümüne hizmet etmek için rotaları optimize etmeyi amaçlamaktadır. Bu problemlerin en önemli uygulamaları birçok araştırmacı tarafından yıllardır ilgi gören ARÇP ve seyyar satıcı problemidir (Limon 2015). ARP ise tanımlanan bir ağ üzerindeki bütün ayrıtların ya da yolların postacı tarafından ziyaret edilmesi esasına dayanır.

Rotalama probleminde gerçek hayat uygulamalarına çok sık rastlanabilmektedir. Bu problem, belirli kısıtlar altında (örneğin; araçların belirli bir kapasite kısıtının olması, araçların gittiği yönlerin tek yönlü olması ya da çift yönlü olması, depoların birden fazla olması ya da zaman kısıtı gibi) belirli bir rotada tanımlanan görevi gerçekleştirerek, amaç fonksiyonunun en iyilenmesini amaçlamaktadır (Kirlık 2009).

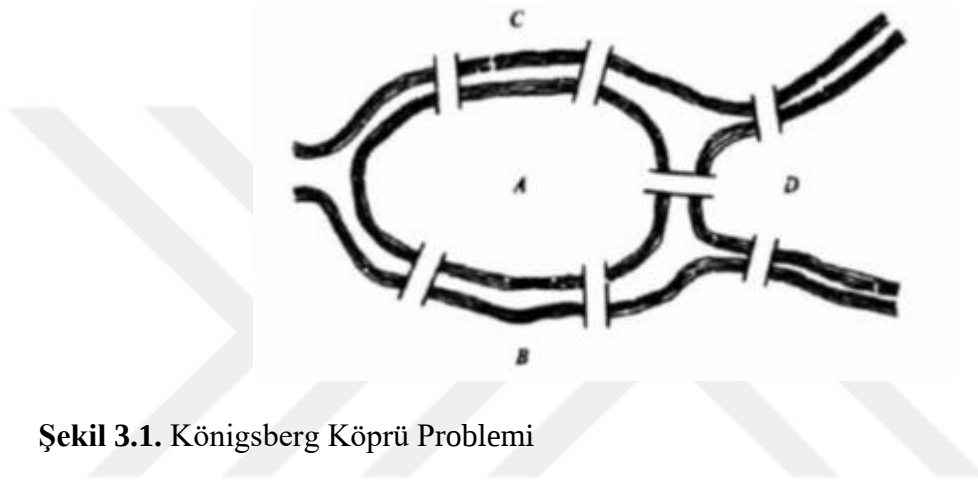
3.1.1. Königsberg Köprü Problemi ve Euler Turu

ÇPP'nin çözümüne temel oluşturan Königsberg köprü problemi, 1736 yılında Leonhard Euler tarafından ortaya çıkarılmıştır. Euler'in "Königsberg Köprü Problemi" üzerine yaptığı çalışmaları, Euler teorisi alanında çok fazla katkı sağlamıştır (Kirlık 2009).

Euler turu olarak da bilinen Königsberg köprü problemi şu şekildedir: Bağlantılı bir $G=(N,E)$ çizgesi verildiğinde, E 'deki her ayrıtı tam bir kez ziyaret eden kapalı bir tur bulunabilir veya böyle bir turun olmadığını belirleyebiliriz. Euler, G 'deki her düğümün derecesinin sadece çift olduğu zaman, bir euler turu olduğunu belirlemiştir (Wohlk 2008).

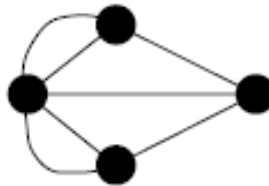
Şekil 3.1'de gösterildiği gibi Königsberg şehrinde yedi köprü vasıtasıyla birbirleriyle ilişkili ve Pregel Nehri kıyılarına bağlı iki ada vardır. Buradaki problem, dört kara

alanının herhangi birinden başlayarak, her köprüden tam bir kez geçtikten sonra tekrar başlangıç noktasına dönülüp dönülmeyeceğidir (bkz Şekil 3.1). 1736 yılında Euler, böyle bir durumun mümkün olmadığını ortaya çıkarmıştır. Şekil 3.1'deki kara parçalarını dört noktayla, yedi köprüyü de noktalar arasına koyacağımız kenarlarla gösterirsek, Şekil 3.2'yi elde ederiz. Burada Königsberg köprü problemi tanımında da ifade edildiği gibi, her köprüden tam bir kez geçen turun olmadığını görmekteyiz (Karskens 2013).



Şekil 3.1. Königsberg Köprü Problemi

Buna göre Euler turu, her kenardan tam bir kez geçen ve başladığı noktaya geri dönen turlara denilmektedir. Euler turunda çizgedeki her noktanın derecesi çift sayılı olmalıdır. Her noktasının derecesinin çift olduğu sonlu ve tekparça bir çizgede Euler turu vardır (Karskens 2013).



Şekil 3.2. Euler turu için ağ gösterimi

3.1.2. Düzüm Rotalama Problemleri

ARP'nin aksine düğüm rotalama probleminde araçlar ayrıtlarda değil düğümlerde hizmet vermektedir. Yani araçlar belirli cadde, yol ya da şehir kesişimlerinde konumlanarak hizmet vermektedirler. Düzüm rotalama probleminde tur rotalarının en iyi şekilde tamamlanabilmesi ve bu turun kısıtlara uygun şekilde olması amaçlanmaktadır. GSP, Hamilton turunu (Hamilton turu, yönlü ya da yönsüz çizgede her bir düğümden tam bir kere geçip başlangıç noktasına tekrar geri dönen turlara denilmektedir) temel alan ve bilinen en iyi düğüm rotalama problemlerindendir (Kirlık 2009). GSP bir sonraki başlıkta detaylı şekilde anlatılacaktır.

3.1.2.a. Gezgin Satıcı Problemi

GSP, bir seyyar satıcının elinde bulunduğu malları n tane şehre mümkün olan en kısa mesafede ve en az maliyetle göndermesidir. Seyyar satıcı, bu n tane şehre en fazla bir kere uğrayarak dolaşmak zorundadır. Gezgin satıcının ilk şehirde n tane değişik şehir seçme hakkı vardır. İkinci şehirde ise $(n-1)$ tane değişik şehir seçme hakkı bulunmaktadır (Gönülol 2009).

Belirli sayıda düğümden oluşan ve bu düğümler arasında bağlantıların olduğu yapıya ağ teorisi denilmektedir. GSP'de şehirler düğümlerle, şehirlerarasındaki yollar bağlantılarla ve şehirlerarasındaki mesafe ise bağlantıların ağırlıkları ile gösterilir. GSP'de en kısa mesafeyi bulmak için, bir düğümden başlayıp belirli sayıdaki düğümü dolaşan ve sonunda tekrar başlangıç düğüme geri dönen bir Hamilton döngüsü kullanılır (Alkan 2014).

GSP, ilk bakışta kolay gibi görünen kombinasyonel optimizasyon problem türüne aittir. GSP, Np-zor sınıflı sezgisel yöntemlerle ya da tam sayılı programlama ile çözülebilir. GSP'nin çözüm yöntemleri arasında şunları sıralayabiliriz; dinamik programlama, dal sınır algoritması, dal ve kesme algoritması... vb gibi. Bu yöntemler GSP'de en kısa tur ve en iyi turu oluşturulmasını garantilemeye çalışmaktadır.

GSP'nin gerçek hayatta pek çok uygulama alanı vardır. Bunlara örnek verecek olursak;

- Büyük ölçekli devrelerin tasarlanması
- Uçaklar için havaalanı rotdalanması
- Malzeme akış sistemi tasarımı
- Robotların depolar ve üretim istasyonları arası yönlendirilmesi
- Elektronik devre tasarımı
- Birçok ulaşım ve lojistik uygulamaları
- Depolardaki vinç güzergâhlarının programlanması
- ARÇP
- Okul otobüslerinin güzergâhlarının belirlenmesi
- Gazete dağıtım ve çöp kamyonlarının güzergâhlarının belirlenmesi

GSP, ÇPP'ye benzerlik göstermesine rağmen önemli farklılıklara sahiptir. ÇPP'de, tüm yolları kapsayacak şekilde en kısa mesafede yolu bulabilmek için çizgede bulunan her ayrıttan en az bir kez geçilmesi problemidir. Eğer ÇPP'de Euler turu mevcut değilse, postacı bazı ayrıtlardan birden fazla geçebilir.

GSP'de; Çinli postacı problemindeki gibi çizgedeki ayrıtlardan değil, çizgede bulunan her bir düğümden yalnızca bir kez geçmektedir. Ve bunu en az maliyetle ve en kısa mesafe ile yapmayı amaçlamaktadır (Özkan 2010).

3.1.3. Ayrıtlar Rotalama Problemi

ARP, tur boyunca ziyaret edilmesi gereken çizgedeki bir dizi kenar tarafından belirlenen tüm rotalama problemleri için genel bir tanımdır. Bu problemin farklı türleri vardır (Karskens 2013).

ARP, yönlü ya da yönsüz ayrıtlara servis veren, belirli kısıtlar altındaki en küçük maliyetli turun bulunması problemidir. 1735 yılında Leonard Euler tarafından ortaya çıkarılan Königsberg köprü problemine dayanmaktadır (Gribkovskaia *et al.* 2007).

ARP'nin günlük hayatta pek çok uygulama alanı vardır: Çöp toplama, posta dağıtımı, ağ bakımı, kar temizleme gibi çeşitli uygulama alanlarında ARP ortaya çıkmaktadır (Hertz 2001).

ARP'nin amacı, bir çizge üzerindeki bütün ayrıtlardan en az bir kez geçerek en kısa rota uzunluğunun bulunmasıdır. Çizgedeki bütün ayrıtlar dolaşılırken, tekrar başlangıç noktasına geri dönme şartı bulunmaktadır. ARP; KPP ve ÇPP olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. KPP ve ÇPP arasındaki farkı şöyle sıralayabiliriz: KPP, çizgedeki sadece belirli ayrıtlardan en az bir kez geçerek en kısa turun bulunması amaçlanırken; ÇPP, çizgedeki bütün ayrıtlardan en az bir kez geçerek en kısa rota uzunluğunun bulunması amaçlanmaktadır (Corberan *et al.* 2002).

3.2. Çinli Postacı Problemleri

Ayrıt rotalama problemlerinden biri olan Çinli postacı problemi, tanımlanan ağ üzerinden tüm bağlantıların tek bir postacı tarafından ziyaret edilerek, başlangıç noktasına dönmesi problemi olarak tanımlanabilir (Eroğlu 2015).

ÇPP, 1962 yılında ilk kez Çinli matematikçi K. Mei-Ko tarafından incelendiği için Çinli postacı problemi ismini almıştır (Ahuja *et al.* 1995). ÇPP'nin günlük hayatta pek çok uygulama alanı vardır. Bunlara örnekler verecek olursak: Mektupların dağıtımı, sokakların temizlenme çalışmaları, polis devriye araba rotalarının belirlenmesi, kışın yolların buzlanması sırasında yapılan tuzlama çalışmaları, okul servisleri, su ve gazete dağıtımı örnekleri mevcuttur (Thimbleby 2003).

ÇPP'de, her bir caddeyi geçen (eğer tek yönlü caddeyse, uygun yönde) bir postacı başladığı noktaya tekrar geri dönerek turunu tamamlamaktadır. ÇPP'de bir yere mektup

gönderen postacı, tekrarlanmış sokak ziyaretleriyle en kısa tur rotasının nasıl olması gerektiğini bilmek ister. Bu durum ise teorik bir çizge problemidir. Yollar yönlü, yönsüz ya da karma çizgeye sahip olan ayrıtlardır ve yoldaki kavşaklar düğümleri oluşur. Çinli postacı turunun maliyeti, postacının çevrim boyunca yürüdüğü toplam mesafenin toplam ağırlığı olarak tanımlanır. Optimal bir Çinli postacı turunun oluşması için minimum maliyete sahip Çinli postacı turu oluşturulmalıdır. Böylece optimal tur rotası da belirlenmiş olur. Eğer çizgedeki bazı ağırlıklar negatif ise, optimal bir Çinli postacı turu tanımlanamayabilir. Genel olarak negatif ağırlığa sahip herhangi bir çevrim varsa, postacı isteğe bağlı olarak bunu tekrarlayabilir ve toplam maliyeti daha düşük sınırlara getirebilir (Thimbleby 2003).

ÇPP'nin farklı türleri vardır. Açık uçlu ÇPP'de, postacının tekrar başladığı noktaya geri dönmesine gerek yoktur. Gerçek hayattaki uygulamaları göz önüne aldığımızda, bu durumun (açık uçlu postacı problemi uygulamasının) pek de yararı görülmeyebilir. Çünkü tur sonunda postacı başladığı noktaya geri dönmesi gerekecektir. Fakat bazı durumlarda açık uçlu postacı problemi uygulaması görülebilir. Örnek vermek gerekirse, bir kullanıcı web site tasarımı test edildikten sonra tekrar ana sayfaya dönmesine gerek yoktur. Bu nedenle web site tasarımı için en uygun çözüm açık uçlu ÇPP'dir (Thimbleby 2003).

ÇPP'nin tam sayılı doğrusal programlama modeli ile göstermek de mümkündür. Yönlü bir çizgenin karmaşıklığı yönsüz durumdaki ile aynıdır. Yalnızca karma çizgedeki ağlarda optimallik için çözüm daha karmaşık hale gelmektedir (Karskens 2013).

ÇPP birçok uygulamayla klasik kombinasyonel optimizasyon problemlerinden biridir. Bununla birlikte pratik uygulamalarda, deterministik olmayan faktörlere de sıklıkla rastlanmaktadır (Zhang and Peng 2012).

Eğer bir çizgedeki düğümlerin komşu ayrıtlarının derecesi çift ise çizgenin büyütülmesi ve komşu ayrıtların derecesinin çift olması için belli sayıda ayrıt üretilebilir (Hertz and Mittanz 2001).

Çok amaçlı ÇPP’de her bir ayrıtın; maliyet ve mesafe, mesafe ve öncelik, maliyet ve zaman gibi 2 ağırlık tarafından nitelendirildiği varsayılmaktadır. Pek çok pratik uygulamalar, her iki ağırlığı da bir arada içerebilir. Böylece problem çok amaçlı ÇPP haline dönüşür. Örneğin, güzergâhın toplam maliyetinin bir eşik değerinin altında olduğu kısıtlamaya bağlı olarak, güzergâhın toplam mesafesi en aza indirilmelidir (Eroğlu 2015).

3.2.1. Çinli Postacı Probleminin Genel Formülasyonu

ÇPP tek başına günlük hayattaki uygulamalar için yeterli bir model oluşturmada da, teorik problemlerin çözüm tekniklerinin incelenerek, bu tekniklerin gerçek hayat uygulamalarına uyarlanıp çözüm verebileceği bir problem türüdür. Bu düşünceyle, ÇPP’nin matematiksel modeli, gerçek hayattaki problemlere çözüm bulacak şekilde aşağıdaki gibi modellenmiştir (Stricker 1969).

N = Ağdaki düğümlerin sayısı

A = Ağdaki tüm ayrıtların sayısı

X_{ij} = i düğümünden j düğümüne dolaşan tüm ayrıtların sayısı

C_{ij} = i düğümünden j düğümüne ayrıtların mesafesi

$$\text{Min} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^N x_{ji} - \sum_{k=1}^N x_{ij} = 0 \quad i = 1, \dots, N \quad (2)$$

$$x_{ij} + x_{ji} \geq 1 \quad (i, j) \in A \quad (3)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \text{ve tamsayı} \quad (4)$$

(1) nolu denklem ağ boyunca dolaşan araçların toplam mesafesinin minimum yapılmasını amaçlamaktadır.

(2) nolu denklem ağdaki akış sürekliliğini sağlayan ve herhangi bir düğüme gelen kenar sayısı ile düğümden çıkan kenar sayısının eşit olması gerektiğini ifade eden kısıttır.

- (3) nolu denklem her kenarın en az bir kez dolaştırılması gerekliliğini ifade etmektedir.
- (4) nolu denklem tüm değişkenlerin negatif olmama ve tam sayılı olmasını ifade etmektedir (Stricker 1969).

3.2.2. Çinli Postacı Problemi Çeşitleri

ÇPP ayrıtlarına göre 3'e ayırmak mümkündür. Bunlar; yönlü, yönsüz ve karma Çinli postacı problemidir (Florian 1984).

ÇPP'de $G=(V, E, A, u)$ yönsüz ağırlıklı bir çizge olsun. Buradaki V : Düğüm kümesini ifade etmektedir. E : Yönsüz çizgedeki ayrıtlar (yollar) sayısını, A : Yönlü çizgedeki bağlantı sayısını yani ayrıtları ifade etmektedir. $u: E \cup A \rightarrow R$ ise kenar ve düğümlerden geçen pozitif maliyetli bir ağırlık fonksiyonunu ifade etmektedir (Kramberger and Zerovnik 2007). Çinli postacı probleminin çeşitleri aşağıdaki başlıkta incelenmiştir.

3.2.2.a. Yönsüz Çinli Postacı Problemi

Problem, yönsüz çizge $G=(V, E)$ ve ağırlığı: $u: E \rightarrow R_0^+$ ile bağlantılıdır. Amaç, her kenarı en az bir kez dolaşan minimum ağırlığa sahip G 'deki kapalı bir yol bulmaktır. Yönsüz ÇPP'de, yönsüz çizgelerden oluşan (yani ayrıtlardan herhangi bir yönde geçilebilir) ağdaki bütün yollardan en az bir kez geçerek tekrar başlangıç yerine geri dönen ve en kısa turun bulunmasını amaçlayan problem türüdür. Burada Yönsüz ÇPP, P sınıfına ait bir problem türüdür yani polinom zamanıyla çözüm elde edilebilir (Kramberger and Zerovnik 2007).

Eğer problemin çizgesi bir Euler çizgesi ise, o zaman tekrarlanan ayrıt olmadan tur tamamlanabilir. Fakat çizge Euler turuna sahip değilse tekrarlanan ayrıt yöntemiyle tur tamamlanır. Tekrarlanan ayrıtların toplam uzunluğu en kısa mesafeli eşleştirme yöntemiyle bulunarak en küçükleme sağlanmış olur (Emel vd 2004).

3.2.2.b. Yönlü Çinli postacı problemi

Yönlü çizge $G=(V, A)$ ve ağırlığı: $u: A \rightarrow R_0^+$ ile çok ilişkilidir. Yönlü ÇPP’de, yönlü bir çizgeye sahip (yani ayrıtlardan herhangi bir yönde geçilemez) ağdaki bütün yollardan en az bir kez geçerek tekrar başlangıç yerine geri dönen ve en kısa turun bulunmasını amaçlayan problem türüdür. Bu problemin çözüm teknikleri olarak, Edmonds ve Johnson akış yöntemleri ya da tamsayılı doğrusal programlama teknikleri örnek verilebilir (Kramberger and Zerovnik 2007).

3.2.2.c. Karma Çinli postacı problemi

Bu problemde karma bir çizge $G=(V, E, A)$, $F= E \cup A$ ve ağırlığı: $u: F \rightarrow R_0^+$ ile ilişkilidir. Amaç, her kenarı en az bir kez geçen minimum ağırlığa sahip G ’deki karma çizgeye sahip kapalı bir yol bulmaktır. Bu problem türünde bütün yollardan geçerek en kısa turun bulunması amaçlanmaktadır. Burada ayrıtlar hem yönlü hem de yönsüz olabilmektedir (Kramberger and Zerovnik 2007).

Papadimitriou (1976) karma çizgeler için optimal bir ÇPP’yi NP-zor sınıfıyla elde edileceğini belirtmiştir (Eroğlu 2015). Bununla birlikte, düğümlerin derecesi çiftse (yönlü ve yönsüz ayrıtların toplam sayısı düğümlerin her birine bağlı olarak çift ise) o zaman problem polinom zamanlı çözülebilir (Edmonds and Johnson 1973). En uygun çözümü bulmak için Christofides *et al.* (1984) ve Nobert and Picard (1991) tamsayılı doğrusal programlama formülasyonunu kullanmışlardır. Dal ve kesme algoritması ise büyük boyutlu karma ÇPP’yi çözmek için Corberan *et al.* (2012) tarafından önerilmiştir.

3.2.2.d. k-Çinli postacı problemi

Problem karma çizge olan belirli bir depo düğümü ve $k>1$ tane postacı ile ilişkilidir. Amaç, aşağıdaki koşulları sağlayan toplam minimum ağırlığa sahip G ’deki karma k-Çinli postacı turunu bulmaktır (Kramberger and Zerovnik 2007).

k-Çinli postacı problemi, NP-zor problem sınıfına aittir. Bununla beraber problemin polinom zamanlı çözülebilen birkaç durumu vardır. Benavent ve arkadaşları (2009), problemin yönsüz hali için 1992 yılında k-Çinli postacı problem sınıfını optimal olarak çözebilen bir algoritma önermişlerdir. Yönlü ağlarda k çinli postacı problemi için yönsüz çizgeli durumlar için önerilen algoritma kolayca genişletilebilir. Pearn (1994) yılında k çinli postacı probleminin diğer iki versiyonunun karma fakat eşit simetrik döngülere sahip hızlı ağlarda polinom zamanlı olarak çözülebildiğini göstermiştir (Eroğlu 2015).

k-Çinli postacı problemi için Osterhues and Mariak (2005) yılında yaptığı çalışmalarında 3 farklı amaç belirtmişlerdir. Bunlar şu şekildedir: İzin verilen hizmet süresinden tüm sapmaların toplamının en aza indirgenmesi, kareler toplamının sapmasının en aza indirgenmesi ve her bir postacı için fazla mesailer toplamının en aza indirgenmesidir. Min- max k –ÇPP’ye benzer şekilde bu değişkenler, postacıların işlerinin dengelenmesini sağlamaktadır. Osterhues and Mariak (2005) çalışmalarında, çizgedeki bir kenara servis veren ve servis vermeden dolaşan farklı maliyet atamışlardır. Sonra sezgisel kırsal postacı problemini kullanarak postacılara 10 farklı kenarı tahsis edilmiştir. Sonuç olarak dal sınır algoritması önermiş ve 25’den az kenara sahip olan örnekler için optimal ve optimale yakın çözüm bulunmuştur.

3.2.2.e. Hızlı Postacı Problemi – (Windy Postman Problem)

Bu problem türünde, ağ üzerinde bulunan ayrıtların uzunluğu ağın geçiş yönüne göre farklılık göstermektedir. Bu problem türünde ağ üzerindeki uzunluklar simetrik değildir (Eiselt *et al* 1995). Burada her kenarı en az bir kez geçen minimum ağırlığa sahip kapalı bir yol bulunmaya çalışılır.

3.2.2.f. min-max k - Çinli postacı problemi

Ağ üzerinde bulunan bütün rota uzunluklarının dengeli olması için en uzun rota uzunluğunun en küçüklenmesi amaçlanmaktadır. Problemin amacı, aşağıdaki koşulları sağlayan G’de minimum ağırlığa sahip kapalı bir yol bulmaktır.

Min- max k ÇPP klasik k ÇPP'nin bir uzantısıdır. Problem, tüm tur maliyetlerinin toplamını azaltmak yerine maksimum maliyete sahip turların maliyetini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Bu problem için birkaç sezgisel algoritma geliştirilmiş ve ilgili hesaplama sonuçları Ahr and Reinelt (2006)'de verilmiştir. Degenhardt (2004) tarafından yayınlanan diğer bir yöntem, minimum mutlak sapmalı k-ÇPP'dir. Problemin amacı, tek bir postacı için izin verilen bir servis zamanından bütün sapmaların toplamını minimum yapmaktır (Eroğlu 2015).

3.2.2.g. Hiyerarşik Çinli postacı problemi

Bu problem türü ÇPP'nin özel bir şeklidir. Burada yolların yani ayrıtların öncelik ilişkileri vardır. İlk olarak öncelik ilişkisi en üst düzeye sahip yollardan geçilir. Sonra düşük önceliğe sahip yollardan geçilip en kısa tur uzunluğunun bulunması amaçlanır. Hiyerarşik ÇPP'de, bir önceliğe dayalı ilişki ile sıralanmış ve öncelik sınıflarına bölünmüş ayrıtlar vardır. Problem, bahsedilen bu öncelik ilişkisine dayanan tüm ayrıtları dolaşan ve depodan oluşan bir tur belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu problem türü NP-zor problem sınıfına dahildir (Korteweg and Volgenant 2006). Eiselt *et al.* (1995) hizmet ve geçiş kavramlarını birbirinden ayırt etmek için hiyerarşik ÇPP'yi yeniden düzenlemişlerdir. Hiyerarşik ÇPP, gerçek hayatta pek çok uygulama alanına sahiptir. Bunlara örnek verecek olursak; kışın yollarda oluşan karların temizlenmesi, tuzlama çalışması ya da yolların ve sokakların temizlenmesi örnekleri verilebilir (Korteweg and Volgenant 2006).

3.3. Kırsal Postacı Problemi

KPP, ilk defa 1974 yılında Orloff tarafından ortaya çıkarılmıştır ve ÇPP'nin bir türüdür (Wohlk 2008).

KPP, kentsel alanlarda ortaya çıkma ihtimalinin daha yüksek olduğu ÇPP'nin aksine kırsal alanlardaki posta dağıtımı ile daha sık ilişkilidir. Yönlü ve yönsüz kırsal postacı probleminde, eğer gerekli olan ayrıtlar bağlantılı bir çizgeyi oluşturuyorsa polinom

zamanlı çözülür aksi taktirde Np-zor problem sınıfına dahildir (Eiselt *et al.* 1995). KPP, günlük hayatta pek çok uygulama alanına sahiptir. Çöp toplama, süt ya da posta teslimatı, okul otobüsü dağıtımı, elektrik sayacı okuma, elektrik hatları ve gaz şebekesi denetimi, park metre tahsilatı gibi örnekleri verebiliriz (Eiselt *et al.* 1995).

Kırsal Postacı probleminin ÇPP'den farkı şöyledir: Kırsal Postacı probleminde, ağ üzerindeki E kümesinde bulunan R alt kümesinden geçiş yapılmaktadır. Ağ üzerinde ihtiyaç olması halinde R dışındaki diğer alt kümelerden de geçiş mümkündür. E'deki tüm kenarlar bir rota belirlemek için kullanılabilir fakat rotada sadece $R \subseteq E$ kümesinin olması gerekmektedir. (Eiselt *et al.* 1995). Bu durum posta dağıtım probleminde, posta kutusu olmayan caddelerin geçilebileceği ancak bunların arasında geçiş yapılması gerekmeyeceği anlamına gelir. Çünkü hizmet edilmesi gereken posta kutusu bulunmadığı için geçiş yapılmasına gerek yoktur (Karskens 2013). Eiselt *et al.* KPP'yi çözmek için tam sayılı bir doğrusal programlama modelinin mümkün olduğunu açıklamıştır. Fakat çizgenin boyutu arttığında problemin çözüm süresi de üstel olarak arttığı için bu problem NP-zor hale dönüşmektedir (Eiselt *et al.* 1995). Bu yüzden kırsal postacı problemini çözmek için sezgisel yöntemlerden yararlanılabilir (Karskens 2013).

3.4. Kapasiteli Ayrıt Rotalama Problemi

KARP, kapasite kısıtlı araçlar ile bir çizgedeki bütün ayrıtlardan en az bir kez geçerek tekrar başlangıç noktasına geri dönen rotalama problemidir. Aynı zamanda en iyi araç turlarının belirlenmesini sağlamaktadır. KARP tüm ayrıtlarda kapasiteyi kullanmaktadır. KARP'ı ilk kez Golden ve Wong 1981 yılında ortaya çıkarmıştır.

KARP'da, her kenarın bir geçit maliyetine sahip olduğu yönsüz bir ağ düşünülmektedir. Sınırlı ve eşit kapasiteye sahip araç filosu bir depo düğümünde bulunur. Talepleri bilinen gerekli kenarların bir alt kümesi ise bir araç tarafından kontrol edilir. KARP, minimum toplam maliyetle araç turlarının tamamlanması amacını taşır. Her tur depoda başlar ve depoda son bulur. Gerekli olan her kenar tek bir yolculukla ve bir geçiş sırasında servis edilir. Her yolculuk için toplam talep araç kapasitesini aşamaz (Belenguer *et al.* 2005).

Ağ üzerinde bir kenara hizmet vermeden geçmek rotanın toplam uzunluğunu etkiler fakat aracın kapasitesini etkilememektedir. Her kenar ile bağlantılı $i \in V$ ve $j \in V$ 'nin düğümleri temsil ettiği 2 değer mevcuttur. İlk değer, kenarların talebi olan d_{ij} ; ikinci değer, kenarlar boyunca (çoğunlukla kenar uzunluğu) seyahat etme maliyeti olan c_{ij} 'dir. Amaç, pozitif bir talebe sahip ($d_{ij} > 0$) tüm kenarların en az bir kez ziyaret edildiği göz önüne alınarak olası en kısa rota uzunluğunu belirlemektir. En kısa rota minimum toplam uzunluğa sahip rotadır (Karskens 2013).

Yönsüz KARP kapasitesi Q olan m tane aracın mevcut olduğu yönsüz KPP'nin genelleştirilmiş halidir. Bu problem türünde gerekli olan kenarların tümü pozitif bir talebe sahiptir. Eğer kenarlar üzerindeki toplam talep Q araç kapasitesini aşmıyorsa araç kısıtı uygulanabilir. Amaç, gerekli olan her kenarın tam bir araç tarafından servis edilecek şekilde en düşük maliyetli araç rotasını bulmaktır (Hertz 2001).

Tagmouti *et al.* (2011) yaptıkları çalışmada, kar temizliği ve tuzlama için dinamik KARP'ı incelemişlerdir. Bu problemde her ayrıtın servis maliyeti hizmetin başlama zamanının parçalı doğrusal bir fonksiyonudur. Bu fonksiyon aynı zamanda servis maliyetlerinin minimum olduğu optimal bir zaman aralığını göstermektedir. Problem çözümünde en yakın komşu arama sezgiseli kullanılmıştır.

Belenguer *et al.* (2005) yaptıkları çalışmada KARP'ı ele almışlardır. Bu problem için düşük sınırlı ve geçerli eşitsizliklere sahip bir formülasyon verilmiştir. Ayrıca 3 yapıcı sezgisel yöntem ve memetik algoritma tanımlanmıştır. Alt ve üst sınırlar rastgele oluşturulmuş iki örnek kümesiyle karşılaştırılmıştır. Hesaplanan sonuçlar alt ve üst sınırlar arasındaki ortalama farkın sırasıyla %0.51 ve %0.33 olduğunu göstermiştir.

Santos *et al.* (2010) yaptıkları çalışmada KARP için meta sezgisel tabanlı bir karınca koloni optimizasyonu incelemişlerdir. Burada karınca kolonisi meta sezgiselinin farklı bileşenleri için değişiklikler yapılmıştır. Yeni meta sezgisel algoritma KARP için 7 standart test ağı üzerinde test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, önerilen yaklaşımın en güncel meta sezgisellerine karşı oldukça iyi performans sergilediğini göstermektedir.

3.4.1. Karp – matematiksel model

► Kümeler

V : Düğüm kümesi $\{1, 2, \dots, n\}$

E : Ayrıtlar kümesi

V' : Depo düğümü hariç düğüm kümesi $\{2, \dots, n\}$

S : V' kümesinin herhangi bir alt kümesi

$\tilde{S}$: S kümesinin tümleyen kümesi $V \setminus S$

R : Gezilmesi gereken ayrıtlar kümesi

K : Araçlar kümesi $\{1, 2, \dots, m\}$

► İndisler

i, j : Düğüm indisleri

k : Araç indisleri

s : S alt kümelerinin indisi

► Parametreler

n : Çizgedeki düğüm sayısı

m : Araç sayısı

C_{ij} : (i, j) ayrıtlarının maliyeti $A(i, j) \in E$

q_{ij} : (i, j) ayrıtlarının talep değeri $A(i, j) \in R$

Q : Aracın kapasitesi

► Karar Değişkenleri

$$Y_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } (i, j) \text{ R ayrıtlarına } k \text{ turunda servis veriliyorsa} \\ 0 & \text{Diğer durumlarda} \end{cases}$$

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } (i,j) \text{ } E \text{ ayrıtından } k \text{ turunda geçiliyorsa} \\ 0 & \text{Diğer durumlarda} \end{cases}$$

t_{sk}, u_{sk} : sıkı ya da gevşek değişken

$$\text{enk} \left(\sum_{(i,j) \in E} \sum_{k=1}^m C_{ij} \cdot x_{ijk} \right) \quad (1)$$

$$\sum_{p \in V} x_{pik} - \sum_{p \in V} x_{ipk} = 0 \quad \forall i \in V, k \in m \quad (2)$$

$$x_{ijk} \geq y_{ijk} \quad \forall (i,j) \in R, k \in m \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^m (y_{ijk} + y_{jik}) = 1 \quad \forall (i,j) \in R \quad (4)$$

$$\sum_{(i,j) \in R} q_{ij} \cdot y_{ijk} \leq Q, \quad k \in m \quad (5)$$

$$\left. \begin{array}{l} \sum_{(i,j) \in (S,S)} x_{ijk} - n^2 \cdot t_{sk} \leq S - 1 \\ \sum_{(i,j) \in (S,\bar{S})} x_{ijk} + u_{sk} \geq 1 \\ t_{sk} + u_{sk} \leq 1 \end{array} \right\} V' = \{2,3,\dots,n\}, k = 1,2,\dots,m \quad (6)$$

$$y_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in R, k = 1,2,\dots,m \quad (7)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in E, k = 1,2,\dots,m \quad (8)$$

$$t_{sk} \in \{0,1\} \quad \forall s, k = 1,2,\dots,m \quad (9)$$

$$u_{sk} \in \{0,1\} \quad \forall s, k = 1,2,\dots,m \quad (10)$$

(1) nolu amaç fonksiyonu, toplam tur maliyetinin en küçüklemesini ifade etmektedir (2) nolu kısıt turun devamlılığını sağlayan kısıttır. (3) nolu kısıt, bir ayrıta herhangi bir araç servis verdiği zaman, o aracın o ayrıttan geçmek zorunda olduğunu ifade etmektedir. (4) nolu denklemde çizgedeki bütün ayrıtlara en az bir kez servis verilmesi gerektiğini ifade etmektedir. (5) nolu kısıtta araç kapasitesinin aşılmaması gerektiğini ifade etmektedir. (6) nolu kısıt kural dışı oluşabilecek olan alt turların oluşmasını engellemektedir. (7), (8), (9)

ve (10) nolu kısıtlar belirtilen değişkenlerin 0-1 tam sayılı olduğunu belirtmektedir. Modelde t_{sk} ve u_{sk} değişkenleri (5) numaralı kısıt grubunda yer alan kısıtlardan birinci ve ikincisinin sıkı veya gevşek olmasını sağlamaktadır (Kirlık 2009).

3.5. Kapasiteli Çinli Postacı Problemi

Kapasiteli Çinli postacı problemi (KÇPP), KARP'ın özel bir durumudur. KARP'da sadece E kenar setinin bir R alt kümesi ziyaret edilmelidir. KÇPP'de, E'deki bütün kenarların pozitif bir talebi vardır ($d_{ij} > 0$). Bu da çizgedeki her kenarın en az bir kez ziyaret edilmesi gerektiği anlamına gelir. ÇPP ile kıyaslandığında; tek ilave kısıt, gezginin kapasitesinde bir sınırlamanın olmasıdır. KARP'a benzer şekilde, tüm kenarların geçildiğinden ve her bir çevrim için kapasite kısıtının aşılmadığından emin olmak için birkaç çevrimin elde edilmesi gerekmektedir. Eğer gezginin kapasitesi çizgedeki toplam talepten büyükse kapasite bir kısıt olmaz ve problem Çinli postacı problemi haline dönüşür (Karskens and Bekker 2013).

Eglese (1994) tarafından belirtilen yol tuzlama problemi, kışın yollar donduğunda ve yolların buzlarını çözmek için yapılan tuzlama çalışmasıdır. Yol tuzlama probleminde, yol tuzlama aracının kapasitesi göz önüne alındığında her yola hizmet eden bir rotanın belirlenmesi bakımından posta dağıtım problemiyle aynıdır. Araç boş olduğu zaman yolu temizlemesi mümkün değildir. Bu durumda sadece caddeyi dolaşabilir. Posta dağıtım probleminde olduğu gibi yol tuzlama problemindeki amaç, araçların boş sefer sayılarını minimum yapan ve depo boyunca tur yapan bir rota belirlemektir (Eglese 1994).

KÇPP; kar temizleme, çöp toplama gibi her caddeyi kaplayan ve bir filo gerektiren önemli bir şehir içi hizmet verme problemidir. Kar temizlemede en belirgin problem caddenin ortasında mahsur kalmış ya da park etmiş araçlardır. Bu sorunları ortadan kaldırmak için görevliler şehir gezisinde bulunup sorun olduğu belirlenen yerlere önceden önlemler alıp daha sonra kar temizliği çalışmasını başlatabilirler (Stricker 1969).

Depo sayısı fazla olduğunda bu durum posta dağıtım probleminden kısmen farklıdır. Posta dağıtım probleminde rota, çevrimlerden oluşur. Çevrimin sadece başlangıç noktası farklı olabilir. Çevrimler arasında postacı yeni bir başlangıç noktası elde etmek için aracının yerini alabilir ve çevrimler bu yeni yerden başlar. Daha fazla depo durumunda araçlar, gün boyunca başka bir depoda tuzu yeniden doldurabilir. Araçların gün sonunda tekrar başlangıç noktasına geri dönmesi gerekmektedir. Amaç, araçların toplam boş sefer sayısını minimum yapmaktır ya da tur rotasını minimum yapmaktır (Karskens and Bekker 2013).

3.6. Genetik Algoritma

Genetik Algoritma (GA) günlük hayatta sık karşılaşılan problemlerin karmaşıklığının fazla olduğu durumlarda probleme çözüm getirmeyi amaçlamaktadır. Bu algoritma türü optimuma yakın sonuçlar üretmektedir. Dolayısıyla çözüm uzayı çok fazladır. Çözüm uzayları arasında arama yaparak en iyi sonucu vermeyi amaçlamaktadır. GA’da, problemin türüne ve özelliklerine göre aynı anda birden fazla durum değerlendirilir. GA’lar başlangıçta rassal olarak popülasyonları oluşturmaktadır. Daha sonra bu popülasyonlara seçme, çaprazlama, ve mutasyon işlemleri uygulanarak en iyi sonuç bulunana kadar algoritma devam etmektedir (Ölmez 2019).

GA, güçlü bireyin hayatta kalmasına ve genetik şifre mantığına dayanan aynı zamanda en iyi çözüm bulmayı amaçlamayan sezgisel algoritma tekniğidir. Genetik algoritmanın temelini oluşturan birkaç faktör vardır. GA ile doğada bulunan bireyler bir araya gelerek çocukları oluşturur. Oluşan çocukların sayısı ise rassal olarak belirlenmektedir. Başka ebeveynlerin oluşması, bu çocukların bir araya gelerek eşleştirilmesi ile olmaktadır. GA’da belirtilen bitiş ölçütlerine göre genetik algoritmanın bitirilip bitirilmediği ortaya çıkmaktadır.

GA’ların kullanım alanlarına örnek verecek olursak; araç rotalama problemleri, gezgin satıcı problemi ya da ayırıt rotalama problemi gibi rotalama problemlerini sayabiliriz. Yani optimizasyona yönelik problemlerde kullanım alanı yaygındır. Aynı zamanda

otomatik programlama ve bilgi öğrenme, mekanik öğrenme gibi uygulama alanları vardır. İşletmelerde ekonomik, finans, pazarlama, üretim gibi birçok alanda kullanılabilir (Sara 2019).

GA, arama yöntemlerinden biridir ve bilgisayar simülasyon programıyla en iyi sonuca ulaşmaya çalışır. GA'nın diğer geleneksel optimizasyon yöntemleri arasındaki farklarını şu şekilde sıralayabiliriz (Aydemir 2009).

- GA, diğer optimizasyon yöntemleri gibi tek bir çözüme göre işlem yapmaz. GA, popülasyondaki tüm çözüm kümesinde arama yapmaktadır.
- GA için çözüme dair kodlama yapılarak çalışmaktadır. Yani çözümün kendisiyle değil, çözüm kümesiyle çalışır.
- GA'da bilginin sonucu olarak uygunluk fonksiyonu kullanılmaktadır.
- GA'da deterministik değerler yerine olasılıklı değerler vardır ve olasılık değerlerine göre optimale yakın sonuç üretmektedir (Aydemir 2009).

3.6.1. Genetik Algoritmanın Temel Kavramları

Gen: GA'da karakter özelliği olarak isimlendirilmektedir. Dolayısıyla problemi oluşturan değişkenlerin özellikleri genlerle belirtilmektedir (Ayan, 2008).

Kromozom: Çok sayıda genin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Kromozomların problemin boyutuna ya da algoritmanın özelliklerine göre farklı kodlamaları mevcuttur. 0-1 sayı kodlaması ya da harf kodlamaları olabileceği gibi problemin değişkenlerinin gerçek değerler aldığı yani reel kodlamalar da mevcuttur. Permütasyon kodlamalarının farklı biçimde kodlanmasında çeşitli avantaj ve dezavantajları olabilir. Örneğin, 0-1 sayı kodlaması, çaprazlama ve mutasyon gibi işlemler için daha kullanışlı olduğundan dolayı daha çok tercih edilir. Fakat 0-1 sayı kodlamasının bilgisayar hafızası için çok fazla yer kaplaması durumu dezavantaj oluşturabilmektedir. Aynı zamanda yorumlanabilmesi görsel olarak karışık ve zor olabilmektedir. Harf kodlama kullanımı nadiren olmakla birlikte genellikle gezgin satıcı gibi rotalama problemlerinde kullanılmaktadır. Reel kodlama türü ise kısıtlı optimizasyon problemlerinde sık kullanılmaktadır (Ayan, 2008).

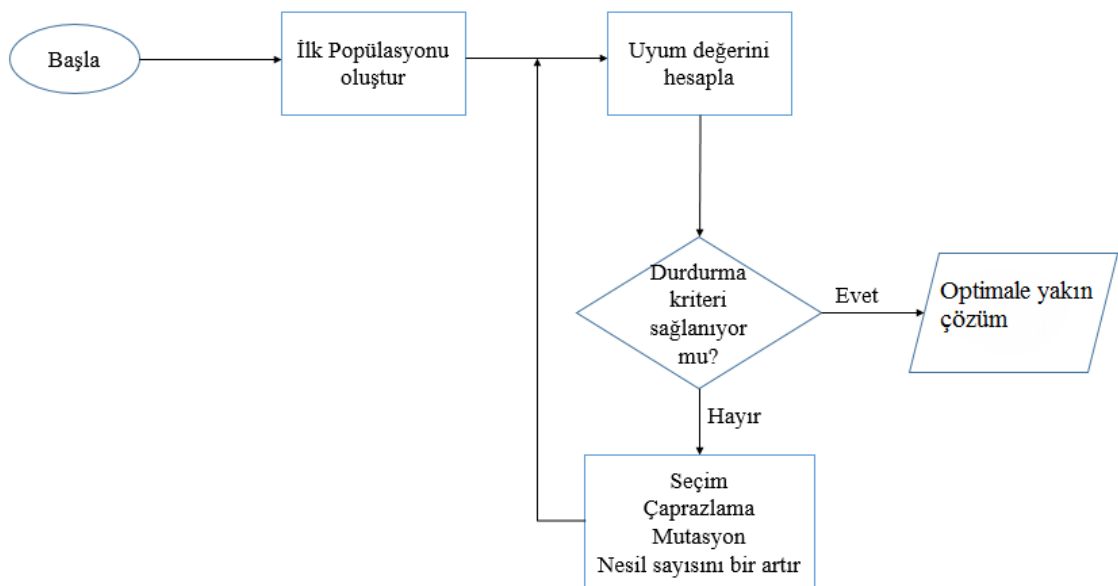
Genotip: Kromozomların arasında bulunan bazı gen grupları olarak ifade edilmektedir. Genotip, gen yapısını oluşturmaktadır.

Fenotip: Genotipi deşifre ettikten sonra bulunan alternatif çözümü oluşturmaktadır (Ayan, 2008).

Popülasyon: Kromozomlar ya da bireyler topluluğunun bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Aynı zamanda, genetik algoritmada aday çözümler topluluğu olarak isim almaktadır. Yani popülasyon, problem için alternatif çözüm kümesidir. Problemin türüne ya da boyutuna göre popülasyon sayıları farklılık arz edebilir. Popülasyon sayısının fazla olması problemin çözüm süresini de artıracaktır. Popülasyon sayısı az ise, problemin çözüm sonucu istenilen düzeyde olmayabilir (Ölmez, 2019).

Uygunluk fonksiyonu: Bireylerin çözüm uzayında uygun değerde olup olmadığını tespit etmeye yardımcı olan amaç fonksiyon değeridir. Dolayısıyla uygunluk fonksiyonu problemdeki algoritmanın başarısında doğrudan etkiye sahiptir (Ölmez, 2019).

3.6.2. Genetik Algoritma Akış Şeması



Şekil 3.3. Genetik algoritma akış şeması

Şekil 3.3’de GA’nın akış şeması görülmektedir. Buna göre, ilk adımda olası çözümlerin kodlandığı bir çözüm gurubu yani popülasyon oluşturulur. Bu adıma popülasyonda bulunan birey sayısı bulunarak başlanır. İkinci adımda, uygunluk fonksiyon değeri hesaplanır. Yani kromozomlar, problemde uygunluk fonksiyonu ile işletilerek ne kadar uygun olduğu bulunmaya çalışılır. Uygunluk fonksiyonu, popülasyonun her bireyi için mevcuttur. Çoğalma işlemi, popülasyondaki uygunluk fonksiyonun en fazla olduğu bireyler arasında olmaktadır. Bu bireyler arasında çaprazlama olduktan sonra yeni bireyler oluşur. Eğer uygunluk fonksiyon değeri düşükse bireyler popülasyonun dışında bırakılır. Böylece en iyi çözümler genetik işlemler aracılığıyla oluşur (Ölmez 2019).

3.6.3. Kromozomların Kodlanması

Kodlama yapılırken kromozomların uygunluğu, problemin kısıt denklemlerinde gerekli şartı sağlayıp sağlamadığı ve aynı zamanda tek bir kromozomun olduğu dikkate alınmalıdır. Kromozom kodlamasının birkaç çeşidi vardır. Bunlar; ikili kodlama, permütasyon kodlama, değer kodlama (harf kodlama) ve ağaç kodlamadır (Altay, 2007).

İkili Kodlama: 0-1 sayı kodlaması olarak da ifade edilen bu kodlama türünde, kromozomlar 0 ya da 1 değerini alan dizilerden oluşmaktadır.

Çizelge 3.1. İkili kodlama örneği

Kromozom A	01010011101000110
Kromozom B	10001110100100100

Çizelge 3.1’de 0-1 Sayı kodlamasının örneği gösterilmiştir. Yukarıda da görüldüğü gibi kromozomlar 0-1 sayı sisteminden oluşmaktadır.

Permütasyonlu kodlama: Bu kodlama türünde çizelge 3.2’de de görüldüğü gibi kromozomlar dizilerde bulunan bir sayının yerini almaktadır. Gezgin satıcı problemi ya da araç rotalama problemleri gibi rotalama problemlerinde kullanımı olmaktadır.

Çizelge 3.2. Permütasyonlu kodlama örneği

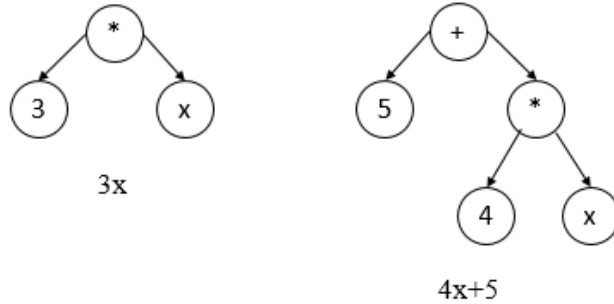
Kromozom A	194823576
Kromozom B	591376248

Değer Kodlama: Harf kodlama olarak da isimlendirilen değer kodlamada kromozomalar harflerden oluşmaktadır. Kromozomdaki değişkenler sayı ya da karakter olabilir. Çizelge 3.3’de bunun örneği görülmektedir (Ölmez 2019).

Çizelge 3.3. Değer kodlama örneği

Kromozom 1	1.4553, 2.7652
Kromozom 2	A J B E K T P
Kromozom 3	Sağ, Sol, Geri, İleri

Ağaç Kodlama: Problemden verilen değerlere uygun olarak ağaç şeklinde bir yapıdan oluşmaktadır. Bu kodlama türündeki kromozomlar algoritmadaki komutlar olabilir.

**Şekil 3.3.** Ağaç kodlama örneği

Şekil 3.3’de ağaç kodlama örneği görülmektedir. Burada kromozomların yer aldığı nesneler ile işlem yapılarak çeşitli fonksiyonlar üretilir (Ölmez 2019).

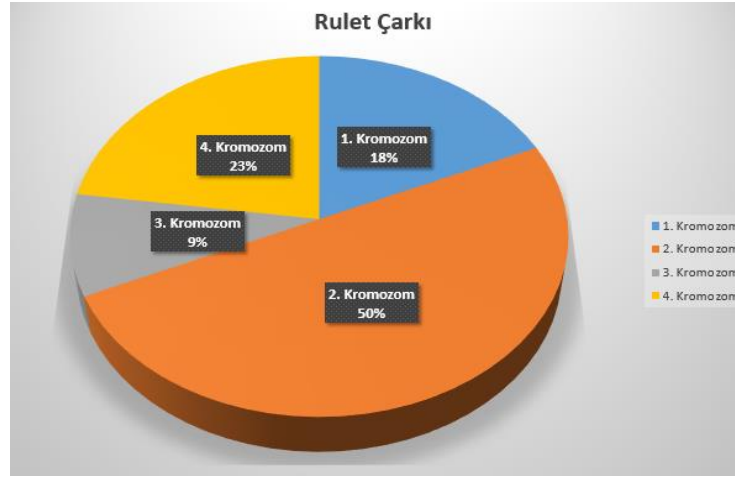
3.6.4. Genetik operatörler

GA'nın başarısını artırmada etkili olan bazı faktörler vardır. Bunlar problemin durumuna göre en iyi uygunluk değerine ulaşmak için gerekli olan faktörlerdir. Karmaşık ve zor problemlerin çözümü için algoritmada kullanılan bu operatörleri şu şekilde sıralayabiliriz: Seçim (yeniden üretme ya da seleksiyon işlemi), çaprazlama ve mutasyondur.

3.6.4.a. Seçim (yeniden üretme, seleksiyon) operatörü

Bu operatör GA'nın her aşamasında kullanılmaktadır. Yeni nesilleri yani ebeveynleri oluşturmak için mevcut nesiller arasında kromozom değeri en iyi olan bireyler seçilir. Dolayısıyla bu bireyler bir sonraki nesillere aktarılır. Uygunluk değeri iyi olmayan bireyler neslin dışına bırakılır ve bu bireyler seçilmez. Bu operatör, çoğalma operatörü olarak da literatürde yer almaktadır. Seçim işlemi ile ilgili çeşitli teknikler kullanılmaktadır.

Rulet Tekerleği (Çemberi, Çarkı) Yöntemi: Şekil 3.4'de görüldüğü gibi, bir daire içerisinde n adet parçaya ayrılan kromozomların hepsinin bir popülasyonda olduğu düşünülür. Burada her bir kromozomun toplam popülasyon içerisindeki uygunluk değerine göre yüzdesi belirlenir ve her bir nesne için rulet çarkına yerleştirilir. Daha sonra yeni bireyleri oluşturmak için çark çevrilir. Çark hangi noktaya geldiyse popülasyonları yani yeni ebeveynleri oluşturur. Böylelikle çarkın bir defa çevrilmesi ile yeni nesiller oluşmuş olur (Suvay 2019).



Şekil 3.4. Rulet tekerleği örneği

Turnuva Yöntemi: Bu yöntemde popülasyondaki kromozomlar rastlantısal bir şekilde seçilir ve daha sonra bu kromozomlar arasında en uygun değere sahip olan kromozom seçilir ve turnuva yönteminin kazananı belli olur. En uygun değere sahip olan kromozom değeri eşleme havuzu denilen yere doldurulur. Bu işlemler eşleme havuzu dolana kadar devam eder.

Sıralı Seçim Yöntemi: Kromozomlara uygunluk sırasına göre numaralar verilerek en iyi değerdeki kromozomların seçilmesi esasına dayanmaktadır (Suvay 2019).

Elitizim Seçim Yöntemi: Elitizim işlemi ile en iyi uygunluk değerine sahip bireyi bir sonraki nesile aktarabilmek için bu birey uygunluk değeri en kötü olan bireyle yer değiştirerek yeni nesilde yerini alır. Böylelikle GA'nın performansı da artmış olur. (Vural 2005).

3.6.4.b. Çaprazlama operatörü

Çaprazlama operatörü, 2 ayrı kromozomun birbiriyle bilgi değişimi yaparak birleşmesi ve yeni bireyler oluşturması işlemidir. Çaprazlama işlemi olmazsa yeni oluşacak nesiller ebeveynlerin aynısı olur. Çaprazlama işlemi genellikle rastgele seçimlerle başlar ve belirli

bir olasılıkla birleşmeler gerçekleşir. Çaprazlama operatörünün farklı biçimleri vardır. Bunlar aşağıdaki gibidir.

Tek noktalı çaprazlama: Seçim operatörü sonucu oluşturulan kromozomlar, rastgele kesilen bölümler arasında birbiriyle yer değiştirir. Şekil 3.5’de de görüldüğü gibi 1. çocuk ve 2. çocuk olmak üzere 2 tane yeni birey oluşmuştur. Buna göre 1. çocuk, 1. ebeveyn ’deki ilk kısım ile 2. ebeveynin ikinci kısmı ile birleştirilmesi sonucu oluşmuştur. Benzer şekilde, çocuk 2, ebeveyn 2’deki ilk kısım ile ebeveyn 1’deki 2. Kısımın birleştirilmesi sonucu oluşmuştur (Dil 2015).

1. Ebeveyn 10100 10000	=>	1. Çocuk 10100 10110
2. Ebeveyn 00100 10110	=>	2. Çocuk 00100 10000

Şekil 3.5. Tek noktalı çaprazlama

Çift noktalı çaprazlama: Ebeveynlerdeki genler ikişer ikişer gruplandıktan sonra birbirleriyle yer değiştirilmesi sonucu oluşan çaprazlama yöntemidir. Şekil 3.6’da görüldüğü gibi 1. Ebeveynden gelen 2 dizi ile 2. Ebeveynden gelen 2 dizi bir araya gelerek yeni birey oluşturmuştur (Dil 2015).

1. Ebeveyn 10011101	=>	Çocuk 10001001
2. Ebeveyn 01 001011		

Şekil 3.6. Çift noktalı çaprazlama

Pozisyona dayalı çaprazlama: Bu yöntem ile yeni nesiller oluşturmak için kalıbın gösterdiği genler sabit olacak şekilde 2 kromozom arasındaki yer değişikliği sağlanmış olur. Şekil 3.7’de görüldüğü gibi kalıpta gösterilen sabit genler doğrultusunda 2 ebeveyn

arasında yerleşme görülmektedir. Burada genler rassal olarak seçilerek bir sonraki nesile aktarılmıştır (Vural 2005).

1. Ebeveyn 5982048112	=>	1. Çocuk 5969346812
2. Ebeveyn 1069306827	=>	2. Çocuk 1082008127
Kalıp 1100010011		

Şekil 3.7. Pozisyona dayalı çaprazlama

Parçalı (Kısmi) Çaprazlama: Bu yöntemde 2 ayrı kromozom arasında çaprazlama yapılması için ilk olarak rastgele bir sayı üretilir. (Rastgele sayı 6 olsun bkz şekil 3.8) İlk çocuk için, birinci ebeveyndeki rastgele sayıya denk gelen sıradan itibaren tüm genler birinci çocuğa aktarılır. Daha sonra ikinci ebeveyndeki genlerin tümü arka arkaya dizilerek yeni kromozomu oluşur. Birinci çocukta oluşan genler arasında aynı özelliğe sahip olan yani tekrar eden genler varsa bu genler silindikten sonra çaprazlama gerçekleşmiş olur (Ma et al 2015). Bu yöntem için örnek Şekil 3.8’de verilmiştir.

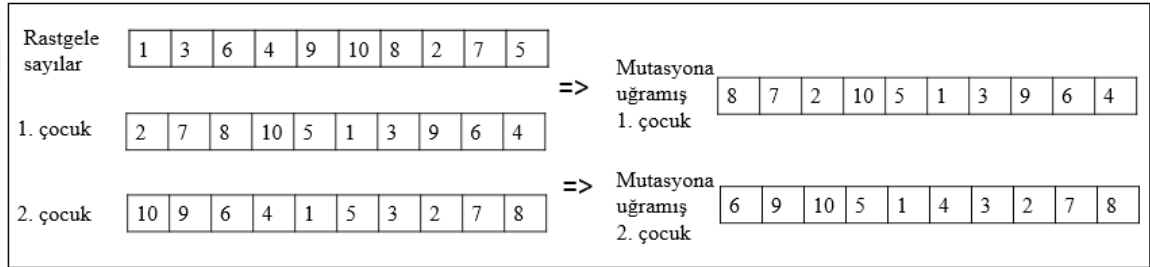
1. Ebeveyn	1	5	6	3	9	4	2	7	8	10
2. Ebeveyn	5	8	7	2	1	3	10	9	6	4
1. Çocuk	2	7	8	10	5	1	3	9	6	4
2. Çocuk	10	9	6	4	1	5	3	2	7	8

Şekil 3.8. Parçalı (Kısmi) çaprazlama

3.6.4.c. Mutasyon operatörü

Mutasyon GA’da var olan bireylerin genlerini değiştirerek çeşitlilik sağlamayı amaçlamaktadır. Mutasyon operatörü, yeni bireyler oluşturmadan mevcut bireylerin farklı özelliklerde olmasını sağlamaktadır. Mutasyona uğrayacak yeni bireyler için ilk

adımında rastgele olarak bir sayı seçildikten sonra ikinci adım olarak kromozomda yer alan genler yer değiştirir ve böylece yeni kromozom oluşmuş olur. Şekil 3.9'a göre, mutasyon için 1 ile 10 arasında rastgele sayılar oluşturulmuştur. 1. Çocuk için rasgele sayıdaki kromozomun ilk iki numarasına denk gelen sayılara karşılık gelen değerler c1'de yer değiştirir. 2. Çocuk için ise, rasgele sayıdaki kromozomun ilk iki numarasına denk gelen sayılar ve 3. ve 4. sayılara karşılık gelen değerler c2'de karşılıklı olarak yer değiştirir (Ma et al 2015).



Şekil 3.9. Mutasyon işlemi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Problem Tanımı

Erzurum Büyükşehir Belediyesi kışın Aziziye, Palandöken ve Yakutiye ilçelerindeki cadde ve sokakların buzlanmasını önlemekle yetkilidir. Bu çalışmada üç ilçedeki buzlanma sorununu gidermek amacıyla yapılan tuzlama çalışması ele alınmıştır. Yapılan tuzlama çalışmasına ait yol güzergâhları Google haritalar yardımıyla çıkarılmıştır. Erzurum Büyükşehir Belediyesinden alınan verilere göre; Aziziye, Yakutiye ve Palandöken ilçelerindeki yol genişliklerinin 25 metre ve altında olduğu durumlarda tuzlama çalışması Erzurum Büyükşehir Belediyesi tarafından yapılmaktadır. 25 metre ve üzeri yolların tuzlama çalışması ise Karayolları Genel Müdürlüğü'nün sorumluluğundadır. Dolayısıyla çalışmamızda Erzurum Büyükşehir Belediyesinin sorumluluğunda olan 25 metre ve altındaki cadde ve sokakların tuzlama problemi ele alınmıştır. Tuzlama yapılan yollar Google Haritalar yardımıyla Erzurum Büyükşehir Belediyesinden elde edilmiştir. Tuzlama çalışması için toplam 34 araç kullanılmıştır. Bu araçların tuz taşıma kapasiteleri (Q) 20000 kg'dır. Tuzlama çalışması için metre kare başına yaklaşık olarak 0,4 kg tuz harcanmaktadır. Matematiksel modelde yer alan α değeri metre kare başına harcanması gereken tuz miktarını ($=0,4 \text{ kg/m}^2$) göstermektedir.

Aziziye ilçesine ait toplam 4 araç, Palandöken ilçesine ait 14 araç ve Yakutiye ilçesine ait toplam 16 araç mevcuttur. Google haritalardan elde ettiğimiz yol güzergâhındaki kavşaklar düğümleri temsil etmektedir. Aziziye ilçesinde 16 düğüm, Palandöken ilçesinde 28 düğüm ve Yakutiye ilçesinde ise 42 düğüm mevcuttur. Tuzlama çalışmasını yapacak olan araçlar bulundukları depodan başlayıp tekrar depoya dönerek görevlerini sonlandırmaktadır. Deponun yeri Erzurum belediyesi fen işleri şantiyesinde merkeze yakın bir bölgede olup bir adettir.

Aziziye ilçesinin tuzlama çalışması için gidilmesi gereken yol güzergâhları mevcut deponun 3,4 km uzağındadır. Bu yüzden Aziziye ilçesinin tuzlama çalışması ve

modellemesi yapılırken, araçların servis vermesi gerekli olan ve araçların servis vermesine gerek olmayan fakat o yoldan geçmesi gereken yollar mevcuttur. Palandöken ilçesinin tuzlama çalışması için gidilmesi gereken yol deponun 2,8 km uzağındadır. Bu yüzden Palandöken ilçesinin tuzlama çalışması ve modellemesi yapılırken Aziziye ilçesinde olduğu gibi araçların servis vermesi gerekli olan ve araçların servis vermesine gerek olmayan fakat o yoldan geçmesi gereken yollar mevcuttur. Yakutiye ilçesinde ise tuzlama çalışması ve modellemesi yapılırken araçların geçtiği tüm yerler aynı zamanda tuzlanmaktadır.

İlerleyen bölümlerde Aziziye, Palandöken ve Yakutiye ilçeleri için optimum sonuçlar ve ağ rotaları verilecektir.

Erzurum büyükşehir belediyesinden elde edilen verilere göre, Aziziye, Palandöken ve Yakutiye ilçeleri için tuzlama yapılan ve gidilen tüm uzunlukların matrisi aşağıdaki gibidir:

Çizelge 4.1. Aziziye ilçe belediyesi sınırları içinde tuzlama yapılan ve gidilen tüm yolların uzunluklar matrisi

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0	0	3800	0	0	0	0	0	3355	3350	0	13750	0	4600	4630	0	0	4680
1	3800	0	11340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1000	920	0	0	970
2	0	11340	0	12500	7000	0	6300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	12500	0	6768	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	7000	6768	0	7820	0	0	0	7675	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	7820	0	7163	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	6300	0	0	7163	0	1700	1913	0	0	0	0	0	0	0	0
7	3355	0	0	0	0	0	1700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	3350	0	0	0	0	0	1913	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	7675	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	13750	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8000	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8000	0	0	0	0	0	0
12	4600	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	750	5000	0	0
13	4630	920	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	750	0	0	1125	1475
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5000	0	0	750	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1125	750	0	2600	0
16	4680	970	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1475	0	2600	0	0

Çizelge 4.1’de 16 düğümlü Aziziye ilçesindeki uzunluklar matrisi görülmektedir.

Çizelge 4.2. Palandöken ilçe belediyesi sınırları içinde tuzlama yapılan ve gidilen tüm yolların uzunluklar matrisi

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
0	0	4200	0	3000	0	0	2800	0	0	0	0	0	0	0	4500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5100	0
1	4200	0	16590	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	16590	0	7812,5	6875	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3000	0	7812,5	0	7450	13475	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	6875	7450	0	10517,5	0	0	0	0	1767,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	13475	10517,5	0	16957,5	0	7105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	2800	0	0	0	0	16957,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	3388	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	7105	0	3388	0	5830	0	0	0	11637,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	5830	0	9817,5	0	12547,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	1767,5	0	0	0	0	9817,5	0	31500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12547,5	0	0	0	9310	0	0	0	0	13650	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	11637,5	0	0	0	9310	0	22050	0	11375	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	4500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22050	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1837,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4598	8680	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11375	0	1837,5	0	4655	0	0	0	0	6720	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4655	0	1680	0	0	3360	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13650	0	0	0	1680	0	8662,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8662,5	0	13247,5	4631	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13247,5	0	4410	0	5845	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3360	0	4631	4410	0	9100	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6720	0	0	0	9100	0	6440	0	1802,5	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5845	0	6440	0	1487,5	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1487,5	0	4070	0	0	4103	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4598	0	0	0	0	0	0	1802,5	0	4070	0	5827,5	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8680	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5827,5	0	6125	2915
27	5100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6125	0	1859
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4103	0	2915	1859	0

Çizelge 4.3. Yakutiye ilçe belediyesi sınırları içinde tuzlama yapılan ve gidilen tüm yolların uzunluklar matrisi

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42			
0	0	1170	0	0	3420	0	0	0	0	0	0	1080	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
1	1170	0	12600	10500	0	0	0	0	0	0	3150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
2	0	12600	0	8437	0	0	2687	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
3	0	10500	8437	0	6037	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
4	3420	0	0	6037	0	29750	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
5	0	0	0	0	29750	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
6	0	0	2687	0	0	0	0	5055	3225	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
7	0	0	0	0	0	0	5055	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
8	0	0	0	0	0	0	3225	0	8960	11322	0	0	2125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
9	0	0	0	0	0	0	0	8960	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
10	0	3150	0	0	0	0	0	11322	0	0	6930	0	0	1350	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	1080	0	0	0	0	0	0	0	0	6930	0	3850	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13755	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3850	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
13	0	0	0	0	0	0	0	2125	0	0	0	0	0	10245	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2725	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13740	0	0		
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1350	0	10245	0	810	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	810	0	2940	0	4509	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2940	0	1117	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1117	0	4332	0	8000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6000	7200	6075	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4509	0	4332	0	5700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5700	0	11070	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8000	0	11070	0	4725	16275	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4725	0	4050	0	0	0	0	0	0	0	2205	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16275	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4050	0	0	17062	0	0	0	0	0	5475	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17062	0	3875	0	0	0	0	6285	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3875	0	2625	6597	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6597	0	0	9502	0	5900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13755	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9502	0	8015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2205	0	0	0	0	0	0	0	8015	0	5535	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5535	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2725	0	2210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2887	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2887	0	5000	0	0	0	0	0	0	0	0	7080	0	0		
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5000	0	0	7500	0	0	8375	0	0	0	0	0			
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6075	0	12625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1830	6375	0	0	0	0	0	0	0				
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7500	1830	0	3500	0	2400	0	0	0	0	0				
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6375	3500	0	3100	0	0	0	0	0	0				
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3100	0	0	0	0	0	0	0			
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2400	0	0	0	0	0	0			
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8375	0	0	0	0	0	4800	1800	0	0			
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4800	0	0	0	0			
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13740	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7080	0	0	0	0	0	0	1800	0	0	5052	0	0		
42																																														

Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’de Palandöken ve Yakutiye ilçeleri için tuzlama yapılan ve gidilen tüm uzunluklar matrisi metre kare cinsinden görülmektedir.

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi Erzurum Büyükşehir Belediyesinin yetki ve sorumluluğunda olan Yakutiye ve Palandöken ilçesi için tuzlama yapılan caddeler Google haritalar yardımıyla elde edilmiştir.



Şekil 4.1. Erzurum Büyükşehir Belediyesinin Yakutiye ve Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

4.2. Uygulama

Erzurum Büyükşehir Belediyesinin tuzlama yaptığı yolların ihtiyaç duyulandan fazla olduğu ve araçların gereksiz yollardan geçtikleri tespit edilmiştir. Bu çalışmada Erzurum Büyükşehir Belediyesinin yetkisinde olan Aziziye, Palandöken ve Yakutiye ilçelerinin kışın yolların buzlanması esnasında yaptığı tuzlama çalışmasındaki en iyi rotaların belirlenmesi amaçlanmıştır. Problemin çözümü için Kapasiteli kırsal Çinli postacı problemi için matematiksel modelleme geliştirilerek, en iyi tur rotaları GAMS 22.5

programıyla test edilmiştir. İkinci aşamada ise Matlab 2017 programlama dili ile GA kodlanmıştır ve sonuçlar mevcut sonuçlar üzerinde iyi performansa sahip olduğu görülmüştür.

4.3. Kapasiteli Kırsal Çinli Postacı Problemi İçin Geliştirilen Matematiksel Model

Kabuller:

- *Bütün ayrıtlar yönsüz kabul edilmiştir.
- *Trafığın olmadığı yer dikkate alınmıştır.
- *Mesafeler deterministik elde edilmiştir.
- *Araç Kapasiteleri $Q=20.000$ kg olarak eşit alınmıştır.

E ayrıtı ve V düğümünden oluşan $G=(V, E)$ olan yönsüz bir çizge düşünelim. (i,j) ayrıtı i ve j düğümleri arasında bir bağlantı kurmaktadır. c_{ij} ve d_{ij} ise bu ayrıtlar ile ilişkili parametreleri tanımlamaktadır.

1)Modeldeki indisler

i,j : Düğüm kümesini ifade etmektedir

k : Araçlar kümesini ifade etmektedir.

2)Parametreler

Q :Aracın alabileceği tuz miktarı

$d(i,j)$: Mesafeler matrisi (metre kare cinsinden)

$c(i,j)$: İlişkiler Matrisi

α : Metre kare başına harcanan tuz miktarını (kg) ifade etmektedir.

3)Karar değişkenleri aşağıdaki gibidir:

x_{ijk} : i 'den j 'ye giderken (i,j) ayrıtından k aracı ile geçilme sayısı

Y_{ijk} : Alt turların elimine edilmesi için yapay değişkendir. Bu değişken i düğümünden j düğümüne k aracı ile geçişin sağlanmasından sorumludur.

t_{ik} : Binary değişken. i düğümüne k aracı gelirse 1, değilse 0.

tuz_{ijk} : i 'den j 'ye giderden (i,j) ayrıtından k aracı ile tuzlama yapılıp yapılmaması

V =Ağdaki tüm düğümlerin kümesi

R =Ağdaki tüm ayrıtların kümesi

E =Ağdaki geçilmesi gereken tüm ayrıtların kümesi

K =Araçların kümesi

n =Toplam düğüm sayısı

M =Büyük bir sayı

Matematiksel Model aşağıdaki gibidir;

$$\text{Min} \sum_i \sum_j \sum_k d_{ij} \cdot x_{ijk} \quad (1)$$

$$\sum_j x_{ijk} - \sum_j x_{jik} = 0 \quad \forall (i,k) \quad (2)$$

$$\sum_i \sum_j \alpha \cdot d_{ij} \cdot tuz_{ijk} \leq Q \quad \forall (k) \quad (3)$$

$$\sum_k (x_{ijk} + x_{jik}) \geq 1 \quad \forall (i,j), i \neq j \text{ ve } d_{ij} > 0 \quad (4)$$

$$\sum_j x_{ijk} + \sum_j x_{jik} - 2 \cdot M \cdot t_{ik} \leq 0 \quad \forall (i,k) \quad (5)$$

$$\sum_j y_{ijk} - \sum_j y_{jik} + t_{ik} = 0 \quad \forall (i,p,k), (i,j \neq 1) \text{ ve } d_{ip} > 0 \quad (6)$$

$$y_{ijk} - M \cdot x_{ijk} \leq 0 \quad \forall (i,j,k) \quad (7)$$

$$x_{ijk} - d_{ij} \cdot M \leq 0 \quad \forall (i,j,k) \quad (8)$$

$$tuz_{ijk} - x_{ijk} \leq 0 \quad \forall (i,j,k) \quad (9)$$

$$\sum_k tuz_{ijk} = c_{ij} \quad \forall (i,j) \quad (10)$$

$$x_{ijk}, x_{jik}, y_{ijk} \geq 0 \text{ ve tamsayı} \quad (11)$$

$$t_{ik} \in \{0,1\} \quad (12)$$

$$tuz_{ijk} \in \{0,1\} \quad (13)$$

(1) nolu amaç fonksiyonu en kısa yol uzunluğunu hesaplamaktadır.

(2) nolu kısıt akışı sağlayan süreklilik kısıtıdır. Bir düğüme hangi araç geldiyse, o araç aynı düğümden çıkmalıdır.

(3) nolu kısıt araç kapasite kısıtının aşılmaması gerektiğini ifade etmektedir. Buradaki α katsayısı metre kare başına harcanan tuz miktarını (kg) ifade etmektedir.

(4) nolu kısıt ise her bir ayrıttan herhangi bir yönde en az bir kez geçilmesi gerektiğini göstermektedir.

(5), (6) ve (7) nolu kısıt, alt tur oluşumunu engellemektedir.

(8) nolu kısıt, yol olmayan yerlerden araçların geçişi engellemektedir

(9) nolu kısıt, bir aracın gitmediği bir ayrıtı tuzlamasını engellemektedir.

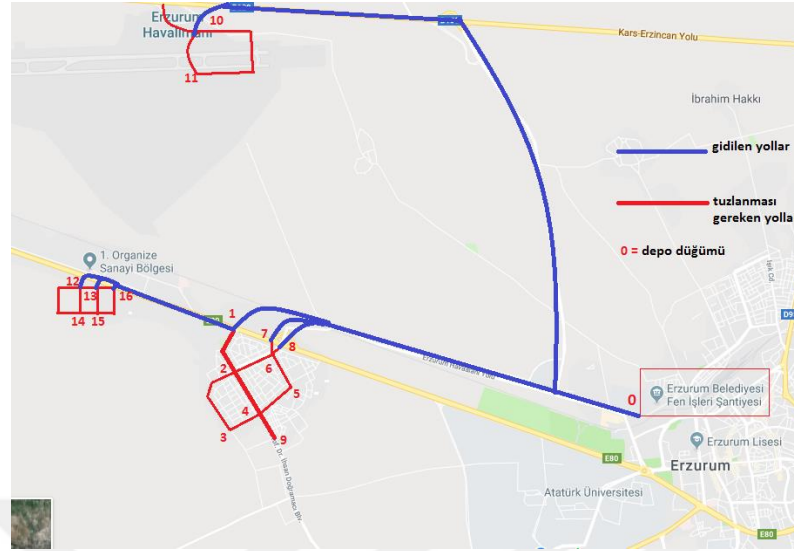
(10) nolu kısıt, tuzlanması gereken ayrıtın bir araç tarafından tuzlanmasını sağlayan kısıttır. (11), (12) ve (13) nolu işaret kısıtlarıdır.

4.4. GAMS Model Sonuçları

Erzurum Büyükşehir belediyesinin yetki ve sorumluluğunda olan Aziziye, Palandöken ve Yakutiye ilçelerine ait ağ rotaları bu bölümde incelenecektir. Bu rotalar GAMS 22.5 programı yardımıyla elde edilmiştir.

4.4.1. Aziziye ilçesi

Aziziye ilçesine ait yollar Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi tuzlanması gereken yol güzergâhları (kırmızı çizgi ile gösterilen yollar) mevcut deponun (Erzurum Belediyesi Fen işleri Şantiyesi) uzağındadır. Yani araç deposu tuzlanması gerekli olan rotanın 3,2 km uzağında konumlanmıştır. Bu yüzden, ağ üzerinde tuzlama yapılmasına gerek olmayan fakat araçların depo düğümüne geri dönebilmesi için geçilmesi gereken mecburi yollar bulunmaktadır. Bu durum araçların gereksiz yol almasına neden olduğu görülmektedir. Bu yollar Şekil 4.2’de mavi çizgi ile gösterilmiştir. Çalışmamızda tespit edilen bu sorunu giderebilmek için GAMS programı kullanılmıştır.



Şekil 4.2. Aziziye ilçesindeki tuzlama yapılan yollar

GAMS programından elde edilen en iyi tur rotaları aşağıdaki gibidir:

1.Araç

Tur rotası: 0-7-6-2-3-2-1-0

Tuzlama yapılan yerler: 7-6, 6-2, 2-3, 3-2, 2-1

2.Araç

Tur rotası: 0-1-2-4-9-4-2-6-8-0

Tuzlama yapılan yerler: 1-2, 2-4, 4-9, 9-4, 4-2, 2-6, 6-8

3.Araç

Tur rotası: 0-12-14-15-13-16-13-12-13-15-16-15-14-12-0-10-11-10-0

Tuzlama yapılan yerler: 12-14-15-13-16-13-12-13-15-16-15-14-12, 10-11-10

4.Araç

Tur rotası: 0-8-6-5-4-3-4-5-6-7-0

Tuzlama yapılan yerler: 8-6-5-4-3-4-5-6-7

4.4.2. Palandöken ilçesi

1.Araç



Şekil 4.3. 1. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Palandöken ilçesinde tuzlama yapılan tüm yollar Şekil 4.3’de kırmızı çizgi ile gösterilmektedir. 1. aracın tuzlama yaptığı ayrıtlar ise beyaz çizgi ile gösterilmekte olup 1-2, 2-1, 4-2, 9-10 arası yollara tuzlama yapmıştır.1. aracın Şekil 4.3’de belirtilen ayrıtlara tuzlama yapabilmesi için geçmesi gereken tur rotası şöyledir: 0-1-2-4-5-8-9-10-4-2-1-0

2. Araç



Şekil 4.4. 2. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Palandöken ilçesinde tuzlama yapılan tüm yollar Şekil 4.4’de kırmızı çizgi ile gösterilmektedir. 2. aracın tuzlama yaptığı ayrıtlar ise beyaz çizgi ile gösterilmekte olup 4-3, 2-4, 10-4, 4-10, 11-10 arası yollara tuzlama yapmıştır. Araç, 0 depo düğümünden başlayarak kendi kapasitesi miktarı ($Q=20000$ kg) kadar tuz ile yollara tuzlama yaptıktan sonra tekrar 0 depo düğümünde rotasını tamamlamıştır. 2. aracın Şekil 4.4’de belirtilen ayrıtlara tuzlama yapabilmesi için geçmesi gereken tur rotası şöyledir: 0-3-2-4-10-11-10-4-3-0

3. Araç



Şekil 4.5. 3. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Palandöken ilçesinde tuzlama yapılan tüm yollar Şekil 4.5’de kırmızı çizgi ile gösterilmektedir. 3. aracın tuzlama yaptığı ayrıtlar ise beyaz çizgi ile gösterilmekte olup 14-13, 27-26, 26-25, 24-25, 26-27 arası yollara tuzlama yapmıştır. Araç, 0 depo düğümünden başlayarak kendi kapasitesi miktarı ($Q=20000$ kg) kadar tuz ile yollara tuzlama yaptıktan sonra tekrar 0 depo düğümünde rotasını tamamlamıştır. 3. aracın Şekil 4.5’de belirtilen ayrıtlara tuzlama yapabilmesi için geçmesi gereken tur rotası aşağıdaki gibidir: Tur rotası: 0-14-13-14-0-27-26-25-24-25-26-27-0

4. Araç



Şekil 4.6. 4. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Palandöken ilçesinde tuzlama yapılan tüm yollar Şekil 4.6’da kırmızı çizgi ile gösterilmektedir. 4. aracın tuzlama yaptığı ayrıtlar; 3-4, 4-5, 5-6, 28-24, 24-23, 23-24, 24-28 arasındır. 4. aracın Şekil 4.6’da belirtilen ayrıtlara tuzlama yapabilmesi için geçmesi gereken tur rotası şöyledir: 0-3-4-5-6-0-27-28-24-23-24-28-27-0

5. Araç



Şekil 4.7. 5. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.7’de 5. aracın tuzlama yaptığı ayrıtlar beyaz çizgi ile gösterilmekte olup 10-11, 28-26, 16-17, 21-20, 20-23 arası yollara tuzlama yapmıştır. Araç, 0 depo düğümünden başlayarak kendi kapasitesi miktarı ($Q=20000$ kg) kadar tuz ile yollara tuzlama yaptıktan sonra tekrar 0 depo düğümünde rotasını tamamlamıştır. 5. aracın Şekil 4.7’de belirtilen ayrıtlara tuzlama yapabilmesi için geçmesi gereken tur rotası aşağıdaki gibidir:

Tur rotası: 0-3-4-10-11-10-4-3-0-27-28-26-15-16-17-21-20-23-24-28-27-0

6. Araç



Şekil 4.8. 6. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.8’de 6. aracın tuzlama yaptığı ayrıtlar beyaz çizgi ile gösterilmekte olup 6-5, 8-7, 7-8, 12-13, 5-4 arası yollara tuzlama yapmıştır. Araç, 0 depo düğümünden başlayarak kendi kapasitesi miktarı ($Q=20000$ kg) kadar tuz ile yollara tuzlama yaptıktan sonra tekrar 0 depo düğümünde rotasını tamamlamıştır. 6. aracın Şekil 4.8’de belirtilen ayrıtlara tuzlama yapabilmesi için geçmesi gereken tur rotası aşağıdaki gibidir:

Tur rotası: 0-6-5-8-7-8-9-12-13-8-5-4-3-0

7. Araç



Şekil 4.9. 7. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.9’da 7. aracın tuzlama yaptığı ayrıtlar 27-28, 26-15, 15-25, 25-22, 25-15, 13-12, 12-9, 9-8 arasındır. 7. aracın Şekil 4.9’da belirtilen ayrıtlara tuzlama yapabilmesi için geçmesi gereken tur rotası şöyledir: 0-27-28-26-15-25-22-25-15-16-13-12-9-8-13-16-17-21-22-26-28-27-0

8. Araç



Şekil 4.10. 8. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.10'da 8. aracın tuzlama yaptığı ayrıtlar beyaz çizgi ile gösterilmekte olup 5-8, 8-13, 13-8, 8-5 arası yollara tuzlama yapmıştır. Araç, 0 depo düğümünden başlayarak kendi kapasitesi miktarı ($Q=20000$ kg) kadar tuz ile yollara tuzlama yaptıktan sonra tekrar 0 depo düğümünde rotasını tamamlamıştır. 8. aracın Şekil 4.10'da belirtilen ayrıtlara tuzlama yapabilmesi için geçmesi gereken tur rotası aşağıdaki gibidir:

Tur rotası: 0-3-5-8-13-8-5-3-0

9. Araç



Şekil 4.11. 9. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.11'de 9. aracın tuzlama yaptığı ayrıtlar beyaz çizgi ile gösterilmekte olup 9-12, 12-18, 16-15, 15-16, 16-22, 22-25, 25-26, 26-28, 28-27 arası yollara tuzlama yapmıştır. Araç, 0 depo düğümünden başlayarak kendi kapasitesi miktarı ($Q=20000$ kg) kadar tuz ile yollara tuzlama yaptıktan sonra tekrar 0 depo düğümünde rotasını tamamlamıştır. 9. aracın Şekil 4.11'de belirtilen ayrıtlara tuzlama yapabilmesi için geçmesi gereken tur rotası aşağıdaki gibidir:

Tur rotası: 0-3-4-10-9-12-18-17-16-15-16-22-25-26-28-27-0

10. Araç



Şekil 4.12. 10. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.12’de; 10-9, 17-18, 18-19, 19-20, 23-22, 15-26 arası yollara tuzlama yapmıştır. 10. aracın Şekil 4.12’de belirtilen ayrıtlara tuzlama yapabilmesi için geçmesi gereken tur rotası: 0-3-4-10-9-12-18-17-18-19-20-23-22-16-15-26-28-27-0

11. Araç



Şekil 4.13. 11. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.13’de 11. aracın tuzlama yaptığı ayrıtlar beyaz çizgi ile gösterilmekte olup 18-17, 17-21, 20-21, 22-16, 16-13, 13-14 arası yollara tuzlama yapmıştır. Araç, 0 depo düğümünden başlayarak kendi kapasitesi miktarı ($Q=20000$ kg) kadar tuz ile yollara tuzlama yaptıktan sonra tekrar 0 depo düğümünde rotasını tamamlamıştır. 11. aracın Şekil 4.13’de belirtilen ayrıtlara tuzlama yapabilmesi için geçmesi gereken tur rotası aşağıdaki gibidir:

Tur rotası: 0-3-5-8-13-12-18-17-21-20-21-22-16-13-14-0

12. Araç



Şekil 4.14. 12. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.14’de 12. aracın tuzlama yaptığı ayrıtlar beyaz çizgi ile gösterilmekte olup 21-22, 22-21, 21-19, 19-18, 18-12 arası yollara tuzlama yapmıştır. Araç, 0 depo düğümünden başlayarak kendi kapasitesi miktarı ($Q=20000$ kg) kadar tuz ile yollara tuzlama yaptıktan sonra tekrar 0 depo düğümünde rotasını tamamlamıştır. 12. aracın Şekil 4.14’de belirtilen ayrıtlara tuzlama yapabilmesi için geçmesi gereken tur rotası aşağıdaki gibidir:

Tur rotası: 0-14-13-16-22-21-22-21-19-18-12-13-14-0

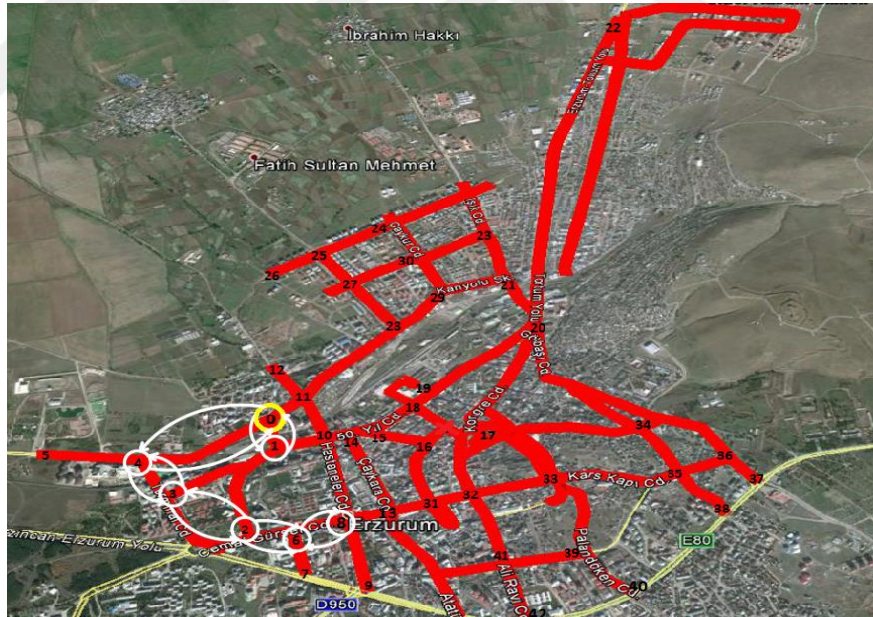
13. Araç

Şekil 4.16’da 14. aracın tuzlama yaptığı ayrıtlar beyaz çizgi ile gösterilmekte olup 13-16, 22-23, 23-20, 20-19, 19-21, 21-17, 17-16 arası yollara tuzlama yapmıştır. Araç, 0 depo düğümünden başlayarak kendi kapasitesi miktarı ($Q=20000$ kg) kadar tuz ile yollara tuzlama yaptıktan sonra tekrar 0 depo düğümünde rotasını tamamlamıştır. 14. aracın Şekil 4.16’da belirtilen ayrıtlara tuzlama yapabilmesi için geçmesi gereken tur rotası aşağıdaki gibidir:

Tur rotası: 0-3-5-8-13-16-22-23-20-19-21-17-16-13-14-0

4.4.3. Yakutiye ilçesi

1. Araç



Şekil 4.17. 1. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Yakutiye ilçesinde tuzlama çalışması için gidilmesi gereken yollar ve 0 depo düğümü Şekil 4.17’de görülmektedir. Gidilmesi gereken yollar kırmızı çizgi ile 0 depo düğümü ise sarı renk ile gösterilmiştir. Araç, 0 depo düğümünden başlayarak kendi kapasitesi miktarı ($Q=20000$ kg) kadar tuz ile yollara tuzlama yaptıktan sonra tekrar 0 depo

düğümünde rotasını tamamlamıştır. 1. Aracın tuzlama yaptığı yollar ise beyaz çizgi ile gösterilmiş olup tur rotası ve tuzlama yaptığı rotalar aşağıdaki gibidir.

Tur rotası: 0-4-3-2-6-8-6-2-3-4-0-1-0

Aracın tuzladığı rotalar; 0-4-3-2-6-8-6-2-3-4-0-1-0

2. Araç



Şekil 4.18. 2. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Yakutiye ilçesinde tuzlama çalışması için gidilmesi gereken yollar ve 0 depo düğümü Şekil 4.18’de görülmektedir. Araç, 0 depo düğümünden başlayarak kendi kapasitesi miktarı ($Q=20000$ kg) kadar tuz ile yollara tuzlama yaptıktan sonra tekrar 0 depo düğümünde rotasını tamamlamıştır. 2. Aracın tuzlama yaptığı yollar ise beyaz çizgi ile gösterilmiş olup tur rotası ve tuzlama yaptığı rotalar aşağıdaki gibidir. Aracın tuzlama yaptığı yollar: 19-20, 29-28, 11-0, 5-4

Tur rotası: 0-1-10-14-15-16-15-18-19-20-21-29-28-11-0-4-5-4-0

3. Araç



Şekil 4.19. 3. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Yakutiye ilçesinde tuzlama çalışması için gidilmesi gereken yollar ve 0 depo düğümü Şekil 4.19’da görülmektedir. Araç, 0 depo düğümünden başlayarak kendi kapasitesi miktarı ($Q=20000$ kg) kadar tuz ile yollara tuzlama yaptıktan sonra tekrar 0 depo düğümünde rotasını tamamlamıştır. 3. Aracın tuzlama yaptığı yollar ise beyaz çizgi ile gösterilmiş olup tur rotası ve tuzlama yaptığı rotalar aşağıdaki gibidir. Aracın tuzlama yaptığı yollar: 13-8, 8-9, 9-8, 8-13, 13-31, 41-13, 17-20, 16-15, 14-10

Tur rotası: 0-1-10-14-13-8-9-8-13-31-32-41-13-31-16-17-20-17-16-15-14-10-1-0

4. Araç



Şekil 4.20. 4. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Yakutiye ilçesinde tuzlama çalışması için gidilmesi gereken yollar ve 0 depo düğümü Şekil 4.20’de görülmektedir. Araç, 0 depo düğümünden başlayarak kendi kapasitesi miktarı ($Q=20000$ kg) kadar tuz ile yollara tuzlama yaptıktan sonra tekrar 0 depo düğümünde rotasını tamamlamıştır. 4. Aracın tuzlama yaptığı yollar ise beyaz çizgi ile gösterilmiş olup tur rotası ve tuzlama yaptığı rotalar aşağıdaki gibidir. Aracın tuzlama yaptığı yollar: 34-35, 35-38, 38-35, 35-36, 36-34, 34-20, 21-23, 20-17, 0-11, 11-12, 12-11

Tur rotası: 0-1-10-14-15-16-17-34-35-38-35-36-34-20-21-23-21-20-17-16-15-14-10-1-0-11-12-11-0

5. Araç



Şekil 4.21. 5. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Yakutiye ilçesinde tuzlama çalışması için gidilmesi gereken yollar ve 0 depo düğümü Şekil 4.21’de görülmektedir. Araç, 0 depo düğümünden başlayarak kendi kapasitesi miktarı ($Q=20000$ kg) kadar tuz ile yollara tuzlama yaptıktan sonra tekrar 0 depo düğümünde rotasını tamamlamıştır. 5. Aracın tuzlama yaptığı yollar ise beyaz çizgi ile gösterilmiş olup tur rotası ve tuzlama yaptığı rotalar aşağıdaki gibidir. Aracın tuzlama yaptığı yollar: 11-10, 14-15, 39-40, 40-39, 33-17, 23-30, 27-25, 25-26, 26-25, 25-27

Tur rotası: 0-11-10-1-10-14-15-16-31-32-41-39-40-39-33-17-20-21-23-30-27-25-26-25-27-28-11-0

6. Araç

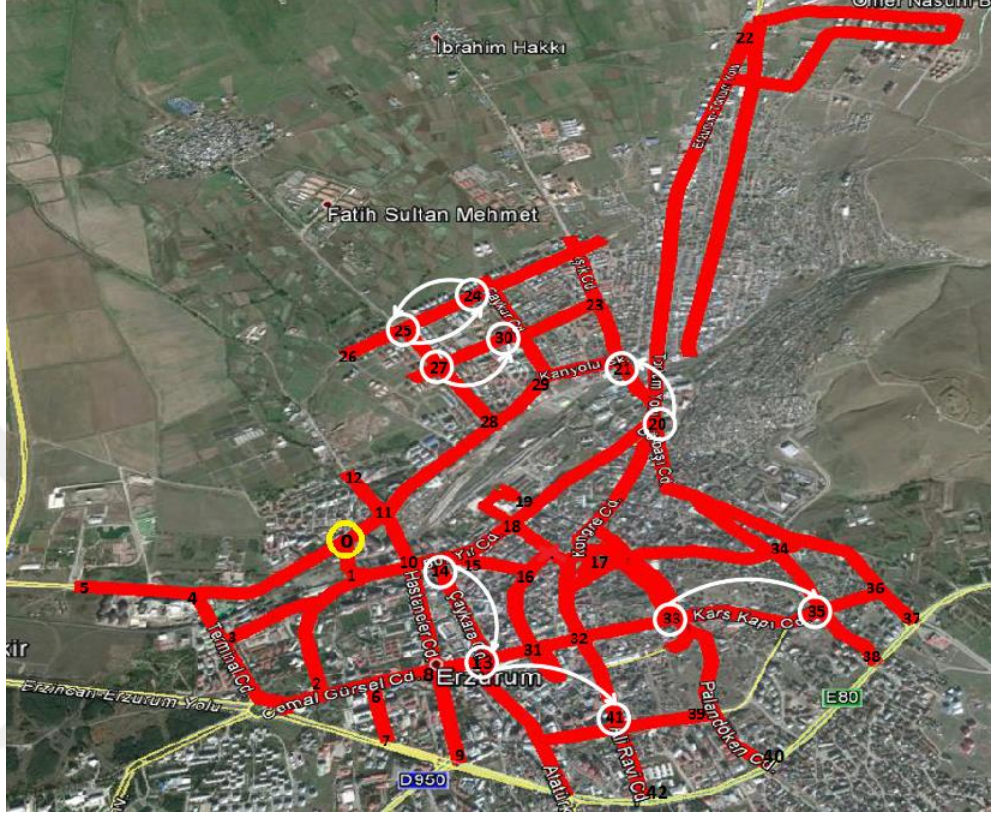


Şekil 4.22. 6. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Yakutiye ilçesinde tuzlama çalışması için gidilmesi gereken yollar ve 0 depo düğümü Şekil 4.22’de görülmektedir. Araç, 0 depo düğümünden başlayarak kendi kapasitesi miktarı ($Q=20000$ kg) kadar tuz ile yollara tuzlama yaptıktan sonra tekrar 0 depo düğümünde rotasını tamamlamıştır. 6. Aracın tuzlama yaptığı yollar ise beyaz çizgi ile gösterilmiş olup tur rotası ve tuzlama yaptığı rotalar aşağıdaki gibidir. Aracın tuzlama yaptığı yollar: 41-39, 39-33, 23-24, 24-23, 23-21, 17-16

Tur rotası: 0-1-10-14-15-16-31-32-41-39-33-35-34-20-21-23-24-23-21-20-17-16-15-14-10-1-0

7. Araç



Şekil 4.23. 7. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Yakutiye ilçesinde tuzlama çalışması için gidilmesi gereken yollar ve 0 depo düğümü Şekil 4.23’de görülmektedir. Araç, 0 depo düğümünden başlayarak kendi kapasitesi miktarı ($Q=20000$ kg) kadar tuz ile yollara tuzlama yaptıktan sonra tekrar 0 depo düğümünde rotasını tamamlamıştır. 7. Aracın tuzlama yaptığı yollar ise beyaz çizgi ile gösterilmiş olup tur rotası ve tuzlama yaptığı rotalar aşağıdaki gibidir. Aracın tuzlama yaptığı yollar: 14-13, 13-41, 33-35, 20-21, 24-25, 25-24, 27-30

Tur rotası: 0-1-10-14-13-41-32-33-35-34-20-21-23-30-24-25-24-25-27-30-23-21-20-17-16-15-14-10-1-0

8. Araç



Şekil 4.24. 8. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Yakutiye ilçesinde tuzlama çalışması için gidilmesi gereken yollar ve 0 depo düğümü Şekil 4.24’de görülmektedir. Araç, 0 depo düğümünden başlayarak kendi kapasitesi miktarı ($Q=20000$ kg) kadar tuz ile yollara tuzlama yaptıktan sonra tekrar 0 depo düğümünde rotasını tamamlamıştır. 8. Aracın tuzlama yaptığı yollar ise beyaz çizgi ile gösterilmiş olup tur rotası ve tuzlama yaptığı rotalar aşağıdaki gibidir. Aracın tuzlama yaptığı yollar: 15-18, 17-20, 20-22, 22-20, 20-19, 15-14

Tur rotası: 0-1-10-14-15-18-17-20-22-20-19-18-15-14-10-1-0

9. Araç



Şekil 4.25. 9. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Yakutiye ilçesinde tuzlama çalışması için gidilmesi gereken yollar ve 0 depo düğümü Şekil 4.25’de görülmektedir. Araç, 0 depo düğümünden başlayarak kendi kapasitesi miktarı ($Q=20000$ kg) kadar tuz ile yollara tuzlama yaptıktan sonra tekrar 0 depo düğümünde rotasını tamamlamıştır. 9. Aracın tuzlama yaptığı yollar ise beyaz çizgi ile gösterilmiş olup tur rotası ve tuzlama yaptığı rotalar aşağıdaki gibidir. Aracın tuzlama yaptığı yollar: 10-8, 32-17, 34-36, 36-37, 37-36, 36-35, 35-34, 34-17, 10-11

Tur rotası: 0-1-10-8-13-31-32-17-34-36-37-36-35-34-17-16-15-14-10-11-0

10. Araç



Şekil 4.26. 10. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Yakutiye ilçesinde tuzlama çalışması için gidilmesi gereken yollar ve 0 depo düğümü Şekil 4.26'de görülmektedir. Araç, 0 depo düğümünden başlayarak kendi kapasitesi miktarı ($Q=20000$ kg) kadar tuz ile yollara tuzlama yaptıktan sonra tekrar 0 depo düğümünde rotasını tamamlamıştır. 10. Aracın tuzlama yaptığı yollar ise beyaz çizgi ile gösterilmiş olup tur rotası ve tuzlama yaptığı rotalar aşağıdaki gibidir. Aracın tuzlama yaptığı yollar: 10-14, 18-17, 30-24, 24-30, 30-27, 27-28, 28-11

Tur rotası: 0-1-10-14-15-18-17-20-21-29-30-24-30-27-28-11-0

14. Araç



Şekil 4.30. 14. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Yakutiye ilçesinde tuzlama çalışması için gidilmesi gereken yollar ve 0 depo düğümü Şekil 4.30'da görülmektedir. Araç, 0 depo düğümünden başlayarak kendi kapasitesi miktarı ($Q=20000$ kg) kadar tuz ile yollara tuzlama yaptıktan sonra tekrar 0 depo düğümünde rotasını tamamlamıştır. 14. Aracın tuzlama yaptığı yollar ise beyaz çizgi ile gösterilmiş olup tur rotası ve tuzlama yaptığı rotalar aşağıdaki gibidir. Aracın tuzlama yaptığı yollar: 17-33, 32-31, 31-13, 10-1, 1-2, 2-1

Tur rotası: 0-1-10-14-15-16-17-33-39-41-32-31-13-31-16-15-14-10-1-2-1-0

15. Araç

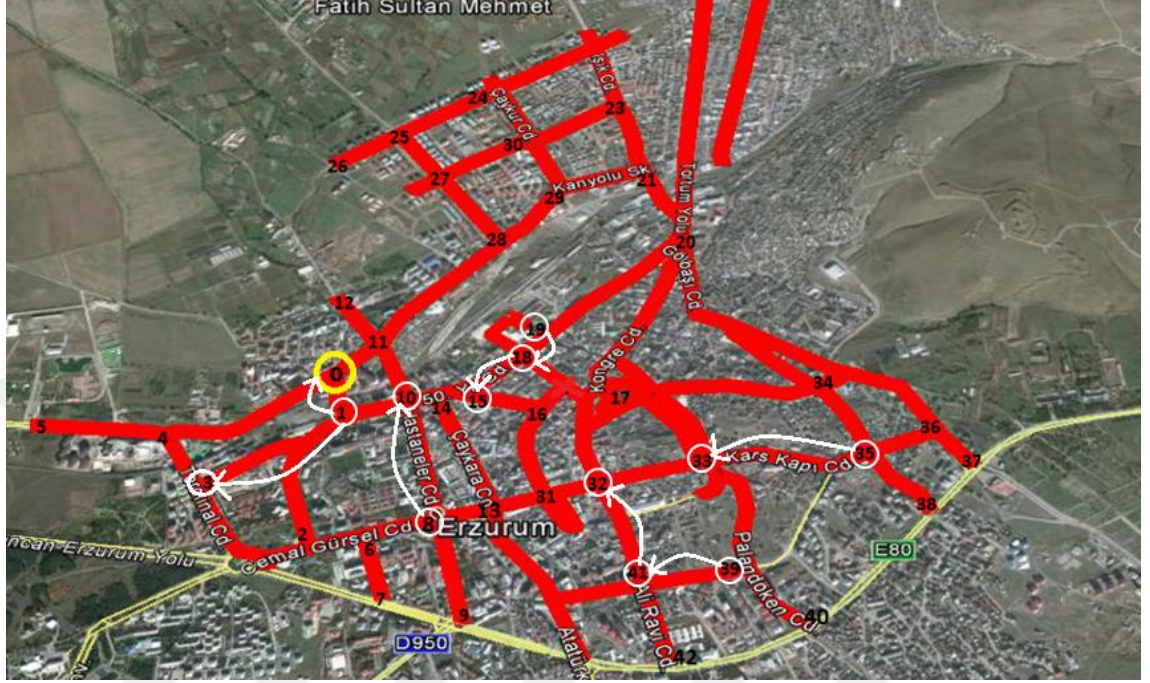


Şekil 4.31. 15. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Yakutiye ilçesinde tuzlama çalışması için gidilmesi gereken yollar ve 0 depo düğümü Şekil 4.31’de görülmektedir. Araç, 0 depo düğümünden başlayarak kendi kapasitesi miktarı ($Q=20000$ kg) kadar tuz ile yollara tuzlama yaptıktan sonra tekrar 0 depo düğümünde rotasını tamamlamıştır. 15. Aracın tuzlama yaptığı yollar ise beyaz çizgi ile gösterilmiş olup tur rotası ve tuzlama yaptığı rotalar aşağıdaki gibidir. Aracın tuzlama yaptığı yollar: 4-5, 1-10, 15-16, 16-17, 16-31, 13-14

Tur rotası: 0-4-5-4-0-1-10-14-15-16-17-16-31-13-14-10-1-0

16. Araç



Şekil 4.32. 16. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Yakutiye ilçesinde tuzlama çalışması için gidilmesi gereken yollar ve 0 depo düğümü Şekil 4.32’de görülmektedir. Araç, 0 depo düğümünden başlayarak kendi kapasitesi miktarı ($Q=20000$ kg) kadar tuz ile yollara tuzlama yaptıktan sonra tekrar 0 depo düğümünde rotasını tamamlamıştır. 16. Aracın tuzlama yaptığı yollar ise beyaz çizgi ile gösterilmiş olup tur rotası ve tuzlama yaptığı rotalar aşağıdaki gibidir. Aracın tuzlama yaptığı yollar: 1-0, 1-3, 18-15, 19-18, 8-10, 41-32, 25-33, 39-41

Tur rotası: 0-1-3-2-6-8-10-14-15-16-17-34-35-33-39-41-32-17-20-19-18-15-14-10-1-0

4.5. Önerilen Genetik Algoritma Yaklaşımı ve Sayısal Sonuçları

Kapasiteli kırsal Çinli postacı problemi için geliştirilen matematiksel modelin GAMS 22.5 programındaki sonuçlarını incelediğimizde, Yakutiye ilçesi ve Palandöken ilçesi için optimum sonuç bulunamadığından ve aynı zamanda sonuçlardaki GAP değeri optimum değerden yaklaşık yüzde 45 uzakta olduğundan dolayı problemin daha iyi sonucunu bulmak için meta sezgisel yöntemlerden biri olan genetik algoritma yaklaşımı ele alınmıştır. Bu yaklaşım, geleneksel optimizasyon yaklaşımlarından farklı özelliklere sahiptir. GA yaklaşımı optimum sonucu garanti etmese de, gerek çözüm süresi gerekse bulunan sonuçların daha iyi olmasından dolayı sıklıkla tercih edilen bir algoritmadır.

Aşağıda bu çalışmadaki GA'nın adımları ve çalışma mantığı verilmiştir.

1. Adım: Bu adımda ilk olarak popülasyon oluşturma yani uygun çözümlerden oluşan ilk nüfusu belirleme işlemi gerçekleştirilir. İlk popülasyon rastgelelik ilkesine dayanarak oluşturulmuştur. Rastgelelik ilkesine dayanarak belirlenen N popülasyon sayısı bu çalışmada 50 kromozomdan oluşmaktadır.

2. adım: Kromozom belirleme ve kodlama işlemi

GA'da tuzlanması gerekli olan yolların oluşturduğu matris W olsun. Burada tuzlanacak yolların başlangıç ve bitişine göre rota belirlenmektedir. Aşağıda Aziziye ilçesi için rassal olarak oluşturulan W matrisi görülmektedir.

$$W = \begin{bmatrix} 3 & 4 & 7 & 6 & 1 & 2 & 25 & 7 & 2 & 32 & 3 & 5 & 1 & 6 & 18 & 1 & 2 & 5 & 27 & 2 & 29 & 4 & 30 & 1 & 7 & 11 & 1 & 2 & 5 & 23 & 3 & 2 \\ 5 & 8 & 12 & 2 & 11 & 5 & 21 & 1 & 3 & 2 & 5 & 3 & 3 & 3 & 15 & 6 & 7 & 16 & 2 & 27 & 6 & 12 & 1 & 9 & 4 & 2 & 9 & 3 & 26 & 4 & 4 & 1 \end{bmatrix}$$

Aziziye ilçesinde tuzlanması gerekli olan toplam 32 tane yol olduğundan dolayı yukarıdaki W matrisinde toplam 32 tane tuzlanması gerekli olan kenar vardır. İlk satırda yer alan değerler başlangıç düğümünü, ikinci satırda yer alan düğümler ise bitiş

düğümünü temsil etmektedir. Tuzlanması gerekli olan bazı yerleri W matrisine göre şu şekilde sıralayabiliriz: $3 \Rightarrow 5$, $4 \Rightarrow 8$, $7 \Rightarrow 12$, $6 \Rightarrow 2$ gibi.

Bu çalışmamızda kromozom kodlaması GA'da büyük önem taşımaktadır. $|W|=p$ olmak üzere ilk kromozom rastgele olarak belirlenmektedir.

$P=(1\ 5\ 8\ 19\ 32\ 31\ 2\ 3\ 9\ 7\ 14\ 26\ 29\ 15\ 6\ 12\ 13\ 23\ 22\ 30\ 27\ 4\ 10\ 24\ 25\ 28\ 16\ 20\ 11\ 17\ 18\ 21)$ olsun. Burada p ; çalışmada kaç tane tuzlanacak yol olduğunun sayısını göstermektedir. Aziziye ilçesi için toplam 32 tane tuzlanması gerekli olan yol mevcuttur. İlk adımda belirlediğimiz popülasyon sayısı 50 olduğu için 50 tane kromozom oluşması gerekmektedir. Yani, popülasyon sayısı kadar kromozom oluşturulmalıdır. İlk kromozom oluşturulurken 1'den 32'ye kadar rastgele yazılan sayılar, tuzlanması gerekli olan yolların öncelik ilişkilerini göstermektedir. En büyük sayı olan 32. gene 1. öncelik verilerek o sayının p kromozomundaki yeri belirlenir. Daha sonra o sıraya denk gelen sayının W matrisinde hangi düğüme tuzlama yapılması gerektiği belirlenmiş olur. Aziziye ilçesi için oluşturulan p kromozomundaki en büyük gen 32'dir ve 5. Sıraya denk gelmektedir. Böylece W kromozomunda 5. Sırada yer alan $1 \Rightarrow 11$ arası tuzlama işlemi için ilk öncelik olarak belirlenmiş olur.

Kodlama işlemi bir kromozomun içerisindeki bilgileri kullanarak kaç tane araç gerektiğini, her bir aracın gitmesi gereken alternatif rotaları ve tuzlaması gerekli olan rotaları belirlemektedir. Kodlama işleminin algoritması sırasıyla aşağıdaki gibidir:

- Öncelikli olarak başlangıç düğümü için depo düğümü, işlem görececek araç numarası olarak da 1 seçilir. Araç kapasitesi de modelde belirtilen kapasiteye eşitlenir.
- Kromozomun içerisinde henüz tuzlanmamış ve aracın kapasitesine uygun en büyük önceliğe sahip yol tespit edilir. Eğer aracın kapasitesine uygun bir yol yoksa araç için depoya geri dönüş işlemi yapıldıktan sonra araç numarası bir artırılır ve yeni aracın kapasitesi modelde belirtilen araç kapasitesine eşitlenir.
- Aracın bulunduğu düğümden tuzlaması gereken yolun başlangıç düğümüne olan en kısa yol Dijkstra algoritması kullanılarak tespit edilir. Araç en kısa yol üzerinden

başlangıç düğümüne doğru ilerlerken yol üzerinde tuzlaması gereken ve henüz tuzlanmamış yollar varsa ve aracın tuzlama kapasitesi de yeterliyse bu yolları tuzlamaktadır. Eğer bu tuzlama işlemi sonrasında hedef yolu tuzlayacak kapasitesi kalmazsa araç geri dönüş işlemine geçer.

Aşağıda dijkstra algoritmasının çalışma mantığı verilmiştir:

-İlk olarak başlangıç noktası belirlenir

-Daha sonra komşu düğümler ile başlangıç düğümü arasındaki tüm uzaklıklar belirlenerek en kısa uzaklık noktası seçilir.

-İkinci adımda bulunan yerden gidilebilen diğer düğümler arasında da aynı işlem tekrarlanır.

- Daha sonra araç öncelikli yolu tuzlar ve böylelikle aracın tuzlama rotasına bu bilgi eklenir. Aracın konumu ise öncelikli yolun bitiş düğümü olarak güncellenir. Daha sonra ikinci adıma geri dönülür.
- Aracın depoya dönüş işlemi için, aracın bulunduğu düğümden depoya olan en kısa yol tespit edilir. Eğer bu yol üzerinde aracın kapasitesinin yettiği ve henüz tuzlanmamış yollar varsa bu yollar da tuzlanır.
- Tüm rotalama işlemleri bittikten sonra rotalama bilgileri kullanılarak modeldeki amaç fonksiyon değeri hesaplanır. Eğer hesaplanan planda araç sayısı modeldeki araç sayısından fazlaysa araç birleştirme işlemi yapılır.
- Araç birleştirme işlemi için tüm araçların oluşturduğu rotaya bağlı olarak ortaya çıkan amaç fonksiyon değerleri (z) hesaplanır. En küçük z değerine sahip bu iki araç birleştirilerek tek bir araca dönüştürülür. Bu işlem toplam araç sayısının modeldeki araç sayısına eşitleninceye kadar devam etmektedir.

3. Adım: Uygunluk değeri hesaplama: Bu adımda belirlenen hedef yani en kısa yol uzunluğuna ulaşp ulaşmadığını kontrol edilmektedir. Burada uygunluk fonksiyonunun doğru bir şekilde kodlanması GA'nın başarısını doğrudan etkileyerek en iyi sonuca ulaşmada yardımcı olmaktadır.

4. Adım: Durdurma kriteri belirleme: GA'da çeşitli denemelerle yapılarak en iyi iterasyon sayısı bu adımda belirlenir. Aynı zamanda maksimum iterasyon sayısına ulaşıp ulaşılmadığı da kontrol edilmektedir. Çalışmamızda 2 ayrı durdurma kriteri vardır. Bunlardan ilki, algoritma maksimum iterasyon sayısına ulaşırsa durmaktadır. İkinci, z değerinde belirli bir iterasyon sayısı kadar üst üste iyileşme olmazsa algoritma durmaktadır.

5. Adım: Bu adımda seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemleri yapılır. Seçim işlemi için Rulet seçimi kullanılmıştır. Burada 50 tane kromozomun toplam popülasyon içerisindeki uygunluk değerine göre yüzdesi belirlenir ve her bir nesne için rulet çarkına yerleştirilir. Daha sonra yeni bireyleri oluşturmak için çark çevrilir. Çark hangi noktaya geldiyse popülasyonları yani yeni ebeveynleri oluşturur. Rulet seçimi yöntemi ile çalışmamızda belirtilen aday kuşak sayısı olan $G=200$ kromozom seçilmektedir. Seçilen bu 200 kromozom çaprazlama işlemine sokularak 200 yeni kromozom yaratılır. Bu çalışmamızda GA için kullanılan parametre değerleri Çizelge 4.4'de görüldüğü gibi şu şekildedir: Popülasyon büyüklüğü 50 ve 100, Mutasyon oranı 0,1 ve 0,2, çaprazlama oranı 0,3 ve 0,6, kuşak farkı 0,1 ve 0,2'dir. En iyi parametre değerlerinin belirlenmesi için ilk aşamada 16 (Her parametre için 2 değer olduğu için $2*2*2*2=2^4$ deneme) ayrı koşum yapılmıştır.

Çizelge 4.4. GA yaklaşımı için faktör ve faktörlerin düzeyleri

Parametre	Düzey 1	Düzey 2
Popülasyon Büyüklüğü	50	100
Mutasyon Oranı	0,1	0,2
Çaprazlama Oranı	0,3	0,6
Kuşak Farkı	0,1	0,2

Çaprazlama yöntemi olarak parçalı çaprazlama ele alınmıştır. Çaprazlama işlemi için 0 ile 1 arasında rastgele bir sayı üretilmektedir. Eğer üretilen bu sayı çaprazlama oranından

küçükse, çaprazlama işlemi yapılır. Eğer üretilen bu sayı çaprazlama oranından büyükse, çaprazlama işlemi yapılmaz ve kromozomlarda değişiklik olmaz.

Parçalı çaprazlama yöntemiyle, 2 ayrı ebeveynden yeni bireyler oluşmaktadır. Bunun için 2 ebeveynin kromozomundaki genler rassal olarak sıralanır. İlk çocuk için, birinci ebeveyndeki rastgele sayıya denk gelen sıradan itibaren tüm genler birinci çocuğa aktarılır. Daha sonra ikinci ebeveyndeki genlerin tümü arka arkaya dizilerek yeni kromozomu oluşur. Birinci çocukta oluşan genler arasında aynı özelliğe sahip olan yani tekrar eden genler varsa bu genler silindikten sonra çaprazlama gerçekleşmiş olur.

Sonraki adım Mutasyon işlemidir. Mutasyon adımı, oluşan her kromozom için 0 ile 1 arasında rastgele bir sayı üretilir. Eğer bu sayı mutasyon olasılığından küçükse bu kromozomun içerisinde rastgele seçilen 2 gen yer değiştirir.

Rulet seçim yöntemiyle belirlenen 200 kromozom arasından en iyi z değerine sahip 40 kromozom $((1-\text{elit seçim oranı}) \times \text{popülasyon sayısı})$ ve bir önceki popülasyondan en iyi z değerine sahip 10 kromozom $(\text{elit seçim oranı} \times \text{popülasyon sayısı})$ yeni popülasyonu belirlendikten sonra algoritma tekrar başlangıç adımına geri döner. (Elit seçim oranı 0,2'dir).

GA'nın sayısal sonuçları aşağıdaki gibidir:

Model Matlab R2017a programlama dili kullanılarak kodlanmıştır. Aynı zamanda Intel(R) Core (TM) i5-2500 CPU @ 3.30 GHz işlemciye ve 8.00 GB RAM özelliğine sahip bilgisayarda çalıştırılmıştır. Bu çalışmada her bir koşumda geçen süre yaklaşık olarak Aziziye ilçesi için 9 dakika, Palandöken ilçesi için 35 dakika ve Yakutiye ilçesi için 90 dakika olarak bulunmuştur.

Aziziye ilçesi için GAMS 22.5 paket programında bulunan optimum sonucu Matlab R2017a programı Çizelge 4.4'de gösterildiği gibi 7. iterasyonda bulmuştur. Aziziye ilçesi 250 iterasyon ile 10 ayrı koşum ile çalıştırılmış ve yaklaşık 9 dakika gibi bir sürede çözüm

bulmuştur. En iyi sonucun elde ettiği parametrelerin değerleri şöyledir: Maksimum iterasyon sayısı 250, popülasyon büyüklüğü 50, mutasyon oranı 0,1, çaprazlama oranı 0,6 ve kuşak farkı 0,1'dir.

Çizelge 4.5. Aziziye ilçesi için GA sonuçları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
z-değeri	265.495	239.275	256.045	271.285	274.610	240.935	237.465	239.215	242.735	256.045
süre	00:09:19	00:09:00	00:09:20	00:09:57	00:08:59	00:09:15	00:09:19	00:09:14	00:09:11	00:08:57

Palandöken ilçesi, 250 iterasyon ve 500 iterasyon için toplam 40 ayrı koşum ile çalıştırılmıştır. En iyi sonucun elde ettiği parametrelerin değerleri şöyledir: Maksimum iterasyon sayısı 500, Popülasyon büyüklüğü 50, mutasyon oranı 0,2, çaprazlama oranı 0,3 ve kuşak farkı 0,2'dir. Çizelge 4.5'de en iyi değer 34. iterasyonda elde edilmiştir ve değeri 1.038.498'dir.

Çizelge 4.6. Palandöken ilçesi için GA sonuçları

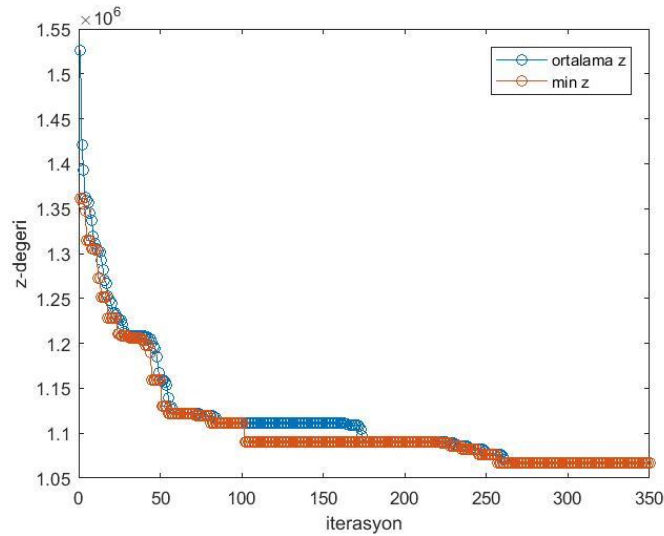
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
z-değeri	1.193.963	1.186.542	1.123.061	1.098.221	1.125.887	1.172.571	1.216.331	1.164.695	1.125.689	1.165.068
süre	00:36:23	00:35:46	00:35:35	00:37:08	00:36:09	00:34:58	00:37:10	00:38:53	00:36:47	00:37:23
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
z-değeri	1.117.151	1.108.049	1.159.919	1.083.686	1.112.565	1.161.771	1.143.876	1.122.789	1.126.939	1.141.051
süre	01:14:04	01:14:46	01:20:11	01:10:57	01:11:08	01:17:43	01:20:25	01:14:19	01:16:22	01:14:34
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
z-değeri	1.075.822	1.101.125	1.144.957	1.099.835	1.092.701	1.139.416	1.075.876	1.077.115	1.101.557	1.066.369
süre	00:24:21	00:19:55	00:26:46	00:20:01	00:24:54	00:15:34	00:23:13	00:21:00	00:25:25	00:46:28
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
z-değeri	1.094.400	1105732	1.098.391	1.038.498	1.096.964	1.376.933	1.066.577	1.080.263	1.102.999	1.080.839
süre	00:56:01	00:57:00	00:34:44	00:56:24	01:08:15	00:59:28	00:31:31	00:42:44	00:25:12	00:47:30

Yakutiye ilçesi için 250 ve 500 iterasyon denemeleri ile toplam 40 ayrı koşum için çalıştırılmıştır. En iyi sonucun elde ettiği parametrelerin değerleri şöyledir: Maksimum iterasyon sayısı 250, Popülasyon büyüklüğü 50, mutasyon oranı 0,2, çaprazlama oranı 0,3 ve kuşak farkı 0,1'dir. Çizelge 4.6'da en iyi değer 11.iterasyonda elde edilmiştir ve değeri 1.264.873'dür.

Çizelge 4.7. Yakutiye ilçesi için GA sonuçları

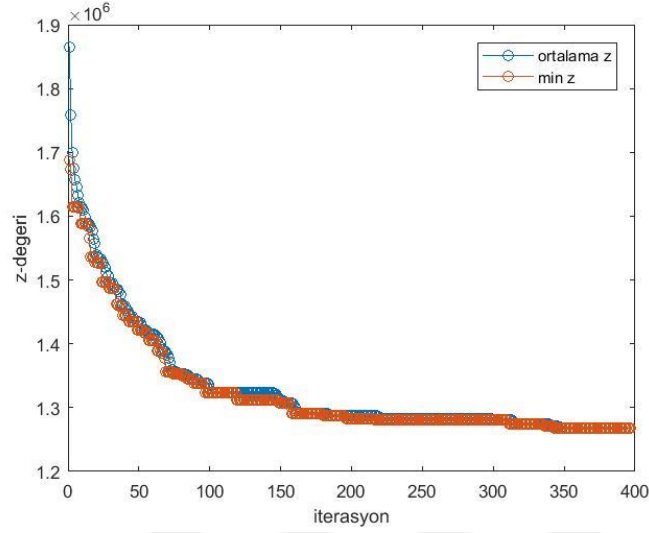
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
z-değeri	1.425.805	1.324.431	1.316.422	1.415.379	1.391.671	1.334.595	1.367.233	1.369.708	1.315.715	1.352.648
süre	01:13:16	01:11:35	01:08:24	01:12:57	01:10:34	01:10:43	01:06:02	01:08:33	01:05:08	01:03:12
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
z-değeri	1.264.873	1.277.157	1.290.122	1.300.013	1.292.337	1.283.574	1.301.390	1.278.265	1.291.143	1.298.594
süre	02:16:33	02:18:29	02:15:32	02:06:07	02:09:30	02:11:58	02:09:48	02:10:40	02:17:56	02:15:45
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
z-değeri	1.330.387	1.334.274	1.406.161	1.293.166	1.303.734	1.268.422	1.366.625	1.401.773	1.396.480	1.305.144
süre	01:29:07	00:56:59	01:00:23	02:01:27	02:07:06	01:40:41	02:08:49	01:33:51	00:49:12	01:43:17
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
z-değeri	1.302.837	1.327.196	1.270.991	1.279.700	1.303.441	1.299.400	1.296.121	1.329.502	1.313.301	1.315.429
süre	02:14:13	02:11:01	02:02:46	02:04:12	02:04:12	02:04:12	02:04:12	02:04:12	02:04:12	02:04:12

İterasyon sayısı arttıkça modeldeki z amaç fonksiyonu yani toplam en kısa yol uzunluğunun nasıl değiştiğini gösteren grafik Palandöken ilçesi için Şekil 4.33’de, Yakutiye ilçesi için Şekil 4.34’de gösterilmiştir.



Şekil 4.33. Palandöken ilçesi için GA grafik gösterimi

Şekil 4.33’de görüldüğü gibi grafikte ortalama z değerleri ve minimum z değerleri hızlı bir şekilde azaldıktan sonra belirli iterasyona gelince sabit kalmıştır. Bu noktalarda z değerleri birbirleriyle yakın sonuçlar üretmektedir.



Şekil 4.34. Yakutiye ilçesi için GA grafik gösterimi

Şekil 4.34’de ortalama z değeri ile minimum z değerinin aynı olduğu ve artık iyileşmenin olmadığı noktalarda z değeri için en iyi çözüme yaklaştığımızı görebiliriz.

4.5.1. Genetik algoritmanın performansı

Bu çalışmamızda meta sezgisel yöntemlerden biri olan GA farklı parametre değerleri için çok sayıda denemeler yapılarak en iyi sonuçlara ulaşmıştır. Bu çalışmadaki problemin boyutu büyük olmasıyla beraber çözüm süresi de üstel olarak arttığı için ele alınan geleneksel optimizasyon yöntemi optimum çözüme ulaşamamıştır. Çalışmada geliştirilen matematiksel modeli GAMS 22.5 programıyla çalıştırdığımızda elde ettiğimiz amaç fonksiyon değerleri Çizelge 4.7’de verilmiştir. Aynı şekilde genetik algorithmadan elde edilen amaç fonksiyonu değerleri de Çizelge 4.7’de görülmektedir. İki sonucun karşılaştırılması yapıldığında; GA sonuçlarına göre, Palandöken ve Yakutiye ilçeleri için amaç fonksiyon değerinin yani en kısa yol uzunluğunun daha da azaldığı görülmektedir. Bu azalma oranı Palandöken ilçesi için %27 iken, Yakutiye ilçesi için bu değer %24’ür.

Çizelge 4.8. Gams ve GA sonuçlarının karşılaştırılması

	Gams'den elde edilen amaç fonksiyon değerleri	Genetik Algoritmadan elde edilen amaç fonksiyon değerleri	İyileştirme Miktarı
Aziziye İlçesi	237.465	237.465	Optimum sonuç
Palandöken İlçesi	1.420.100	1.038.498	27%
Yakutiye ilçesi	1.664.350	1.264.873	24%

Çizelge 4.9. Palandöken ilçesinin küçük boyutlu problemi için oluşturulan örneğin sonuçları

	Gams'den elde edilen amaç fonksiyon değerleri	Genetik Algoritmadan elde edilen amaç fonksiyon değerleri	İyileştirme Miktarı
Palandöken ilçesi	241.171	241.171	Optimum sonuç

Palandöken ilçesi için küçük boyuta indirgediğimiz örneği hem GAMS hem de GA ile çözdüğümüzde elde edilen sonuçların olduğu tablo Çizelge 4.8’de verilmiştir. Bu örnekte 10 düğüm ve 5 araç mevcuttur. GAMS ve GA ile model çözüldüğünde her ikisinde de 241.171 optimum amaç fonksiyon değeri bulunmuştur. Bu sonuçlar GA’nın performansının iyi olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada meta sezgisel yöntemlerden biri olan GA seçilmesinin nedenleri arasında şunları sıralayabiliriz:

- GA birçok farklı çözüm uzayı arasında çözüm bulmaktadır ve böylece klasik sezgisel yöntemlerden daha iyi sonuçlar üretebilmektedir.
- GA tek bir çözüm üretmez. Aksine birden fazla çözüm kümesi arasından en iyi çözümleri üretmektedir.
- Problem boyutu büyük olmasından dolayı çözüm süresi de artacaktır. Dolayısıyla klasik sezgisel yöntemlerden gelecek çözüm süresinin uzun olacağı düşünülmektedir.

- GA'daki yerel en iyiye takılmama durumundan ötürü ve aynı zamanda yapılan birçok iterasyon sonucunda elde edilen sonuçların performansının iyi olduğu görülmüştür.

Genetik Algoritmadaki en iyi tur rotaları aşağıdaki gibidir:

4.5.2. Palandöken ilçesi

1. Araç



Şekil 4.35. 1. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.35’de tuzlama yapılan yollar görülmektedir. Tur rotası ve tuzlama yapılan yerler aşağıdaki gibidir:

Tur rotası

0->27->28->24->23->20->21->19->20->21->17->21->20->23->24->28->27->0

Tuzlama yapılan yerler

27->28, 28->24, 24->23, 23->20, 20->21, 21->19, 19->20, 21->17, 17->21, 21->20, 23->24

2. Araç



Şekil 4.36. 2. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.36’da tuzlama yapılan yollar görülmektedir. Tur rotası: 0->27->28->24->23->22->16->17->16->15->26->25->24->28->27->0 Tuzlama yapılan yerler: 23->22, 22->16, 16->17, 17->16, 16->15, 15->26, 26->25, 25->24, 24->28, 28->27

3. Araç



Şekil 4.37. 3. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.37’de tuzlama yapılan yollar görülmektedir. Tur rotası ve tuzlama yapılan yerler aşağıdaki gibidir:

Tur rotası

0->27->26->15->25->15->16->17->18->19->21->20->23->24->28->27->0

Tuzlama yapılan yerler

27->26, 26->15, 15->25, 25->15, 15->16, 17->18, 18->19, 19->21, 20->23

4. Araç



Şekil 4.38. 4. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.38’de tuzlama yapılan yollar görülmektedir. Tur rotası ve tuzlama yapılan yerler aşağıdaki gibidir:

Tur rotası

0->3->4->5->8->7->8->9->10->4->3->0

Tuzlama yapılan yerler

3->4, 4->5, 5->8, 8->7, 7->8, 8->9, 9->10, 10->4

5. Araç



Şekil 4.39. 5. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.39’da tuzlama yapılan yollar görülmektedir. Tur rotası ve tuzlama yapılan yerler aşağıdaki gibidir:

Tur rotası

0->3->4->10->9->8->13->16->22->25->24->28->27->0

Tuzlama yapılan yerler

4->10, 10->9, 9->8, 8->13, 13->16, 16->22, 22->25

6. Araç



Şekil 4.40. 6. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.40’de tuzlama yapılan yollar 20->19, 19->18, 18->12, 12->9 görülmektedir. Tur rotası 0->27->28->24->23->20->19->18->12->9->10->4->3->0

7. Araç



Şekil 4.41. 7. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.41’de tuzlama yapılan yollar görülmektedir. Tur rotası ve tuzlama yapılan yerler aşağıdaki gibidir:

Tur rotası

0->3->5->6->0->6->5->4->2->3->0

Tuzlama yapılan yerler

3->5, 5->6, 6->5, 5->4, 4->2, 2->3

8. Araç



Şekil 4.42. 8. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.42’de tuzlama yapılan yollar görülmektedir. Tur rotası ve tuzlama yapılan yerler aşağıdaki gibidir:

Tur rotası

0->3->2->1->2->4->3->0

Tuzlama yapılan yerler

3->2, 2->1, 1->2, 2->4

9. Araç



Şekil 4.43. 9. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.43’de tuzlama yapılan 28->26, 16->13, 13->8, 8->5, 5->3 yollar görülmektedir.

Turrotası:

0->27->28->26->15->16->13->8->5->3->0

10. Araç



Şekil 4.44. 10. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.44’de tuzlama yapılan yollar görülmektedir. Tur rotası ve tuzlama yapılan yerler aşağıdaki gibidir:

Tur rotası

0->3->4->10->9->12->13->12->18->17->16->15->26->28->27->0

Tuzlama yapılan yerler

9->12, 12->13, 13->12, 12->18, 18->17, 26->28

11. Araç



Şekil 4.45. 11. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.45’de tuzlama yapılan yollar 14->13, 13->14 olarak görülmektedir. Tur rotası, 0->14->13->14->0

12. Araç



Şekil 4.46. 12. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.46’da tuzlama yapılan yollar 10->11, 4->3 görülmektedir. Tur rotası 0->3->4->10->11->10->4->3->0

13. Araç



Şekil 4.47. 13. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.47’de tuzlama yapılan yollar görülmektedir. Tur rotası ve tuzlama yapılan yerler aşağıdaki gibidir:

Tur rotası

0->3->4->10->11->10->4->3->0

Tuzlama yapılan yerler

28->26, 16->13, 13->8, 8->5, 5->3

14. Araç



Şekil 4.48. 14. aracın Palandöken ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.48’de tuzlama yapılan yollar görülmektedir. Tur rotası ve tuzlama yapılan yerler aşağıdaki gibidir:

Tur rotası

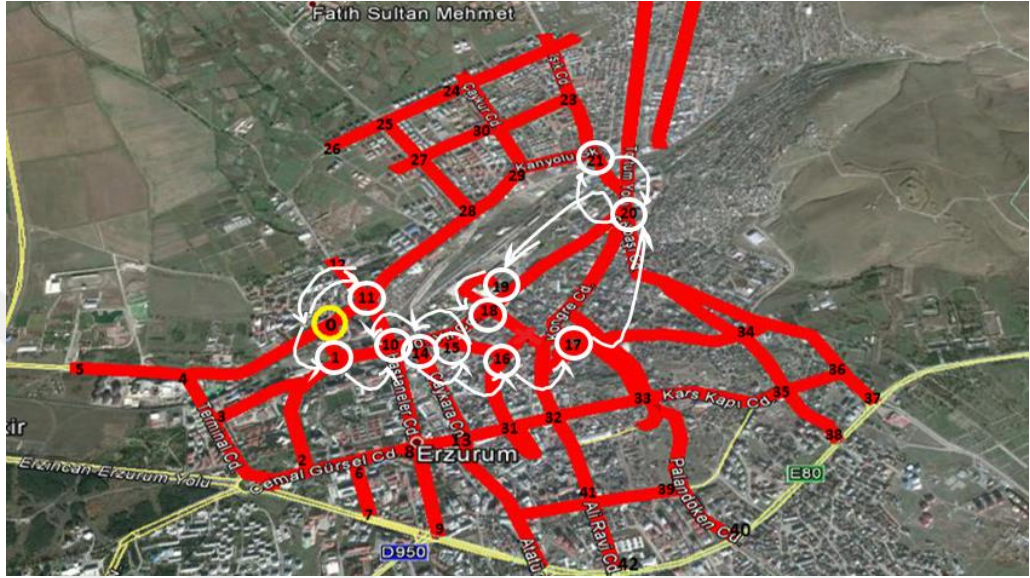
0->27->28->24->25->22->21->22->23->24->25->26->27->0

Tuzlama yapılan yerler

24->25, 25->22, 22->21, 21->22, 22->23, 25->26, 26->27

4.5.3. Yakutiye ilçesi

1. Araç



Şekil 4.49. 1. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.49’da tuzlama yapılan yollar görülmektedir. Tur rotası ve tuzlama yapılan yerler aşağıdaki gibidir:

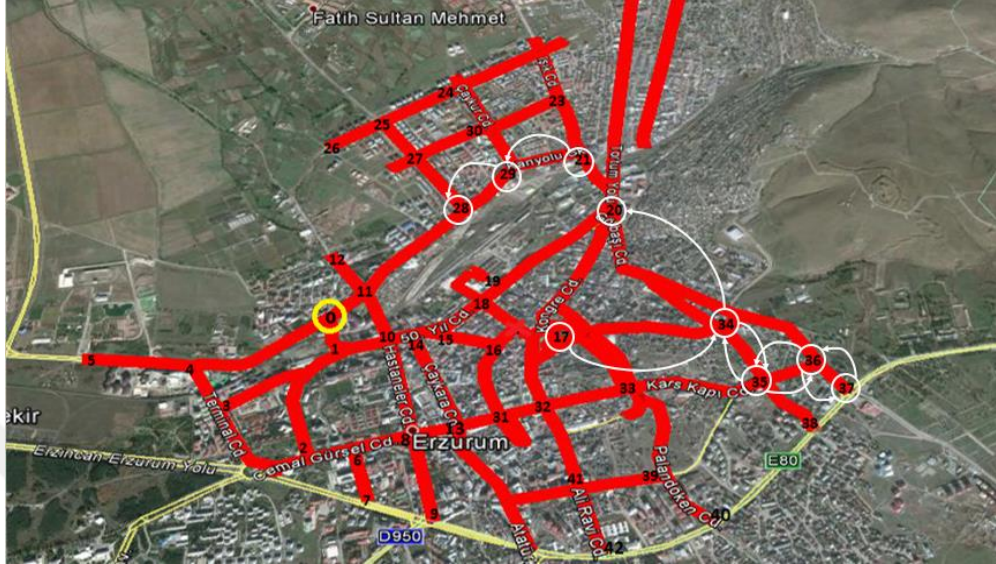
Tur rotası

0->11->0->1->10->14->15->16->17->20->21->20->19->18->15->14->10->1->0

Tuzlama yapılan yerler

0->11, 11->0, 0->1, 1->10, 10->14, 14->15, 15->16, 16->17, 17->20, 20->21, 21->20, 20->19, 19->18, 15->14, 14->10

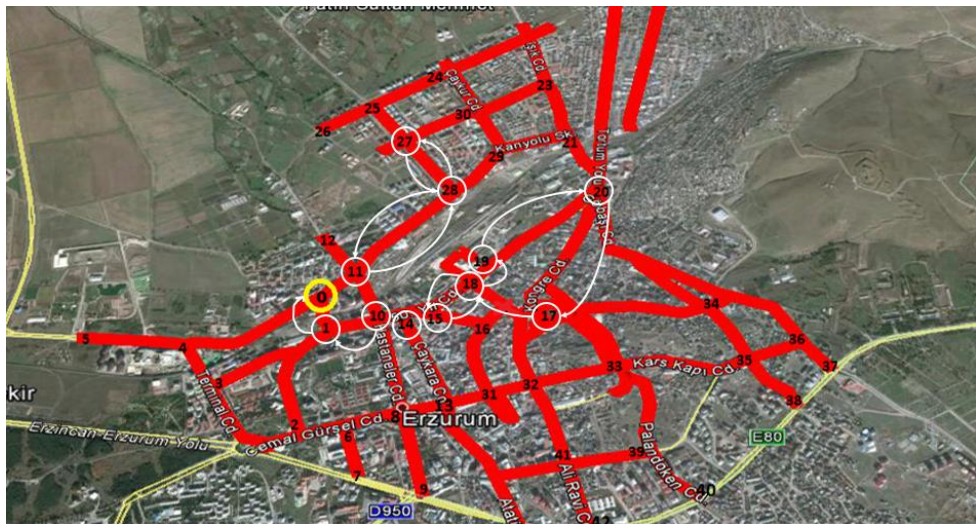
2. Araç



Şekil 4.50. 2. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.50’de tuzlama yapılan yerler, 17->34, 34->35, 35->36, 36->37, 37->36, 36->35, 35->34, 34->20, 21->29, 29->28

3. Araç



Şekil 4.51. 3. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.51’de tuzlama yapılan yollar görülmektedir. Tur rotası ve tuzlama yapılan yerler aşağıdaki gibidir:

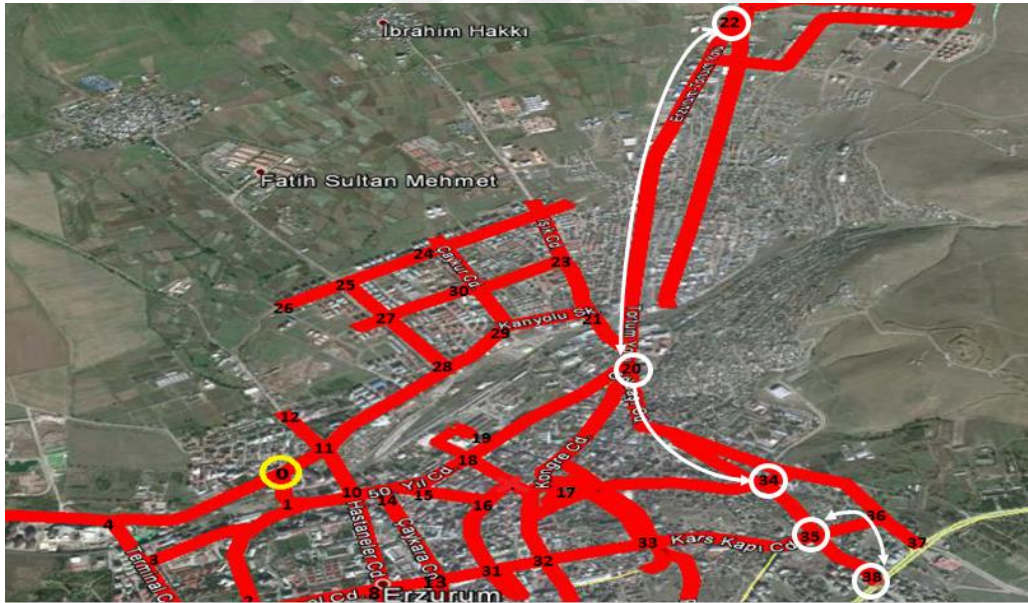
Tur rotası

0->11->28->27->28->11->0->1->10->14->15->18->19->20->17->18->15->14->10->1->0

Tuzlama yapılan yerler

11->28, 28->27, 27->28, 28->11, 15->18, 18->19, 19->20, 20->17, 17->18, 18->15, 10->1, 1->0

4. Araç



Şekil 4.52. 4. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.5’2de tuzlama yapılan yollar görülmektedir. Tur rotası ve tuzlama yapılan yerler aşağıdaki gibidir:

Tur rotası

0->1->10->14->15->16->17->20->22->20->34->35->38->35->34->17->16->15->14->10->1->0

Tuzlama yapılan yerler

20->22, 22->20, 20->34, 35->38, 38->35

5. Araç



Şekil 4.53. 5. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.53’de tuzlama yapılan yollar görülmektedir. Tur rotası ve tuzlama yapılan yerler aşağıdaki gibidir:

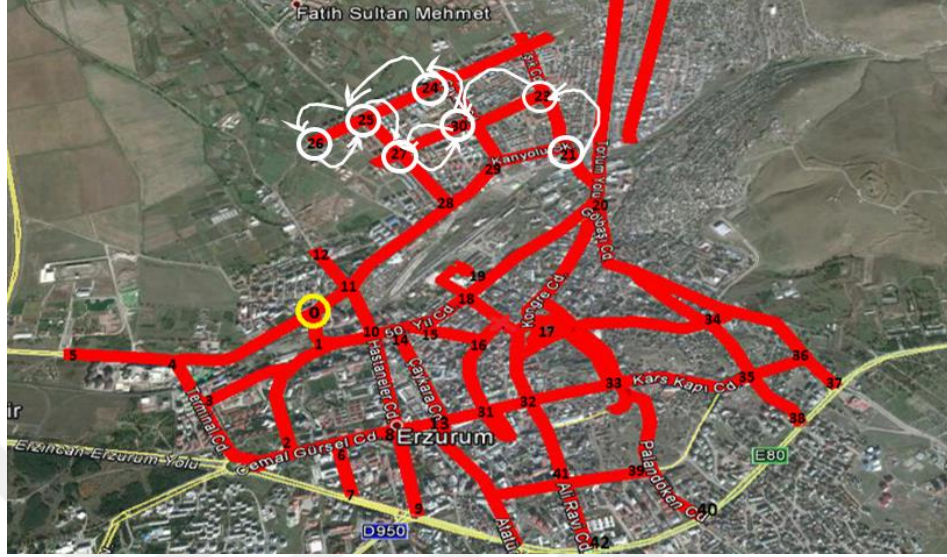
Tur rotası

0->4->5->4->0

Tuzlama yapılan yerler

4->5

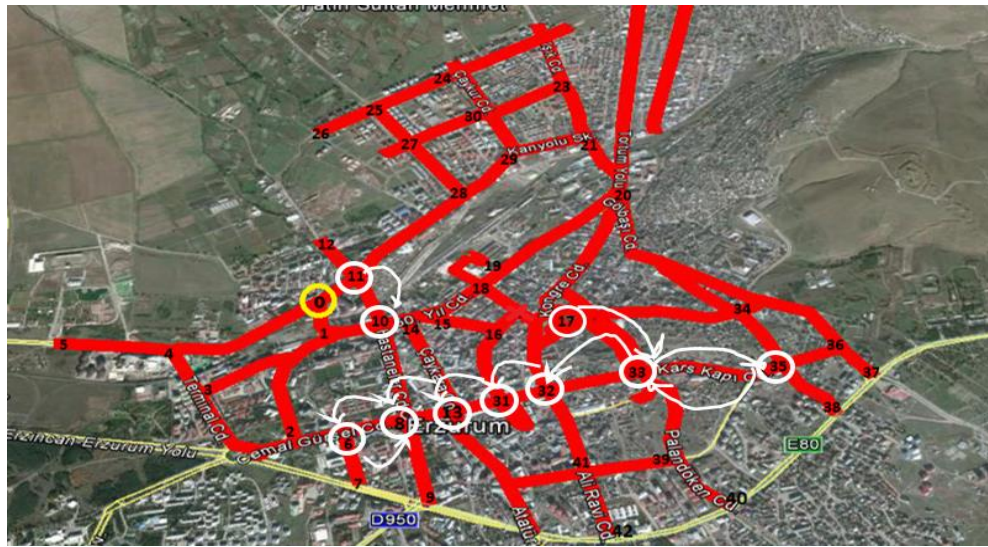
6. Araç



Şekil 4.54. 6. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.54’de tur rotası, 0->1->10->14->15->16->17->20->21->23->30->27->30->24->25->26->25->27->28->11->0

7. Araç



Şekil 4.55. 7. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.55’de tuzlama yapılan yollar görülmektedir. Tur rotası ve tuzlama yapılan yerler aşağıdaki gibidir:

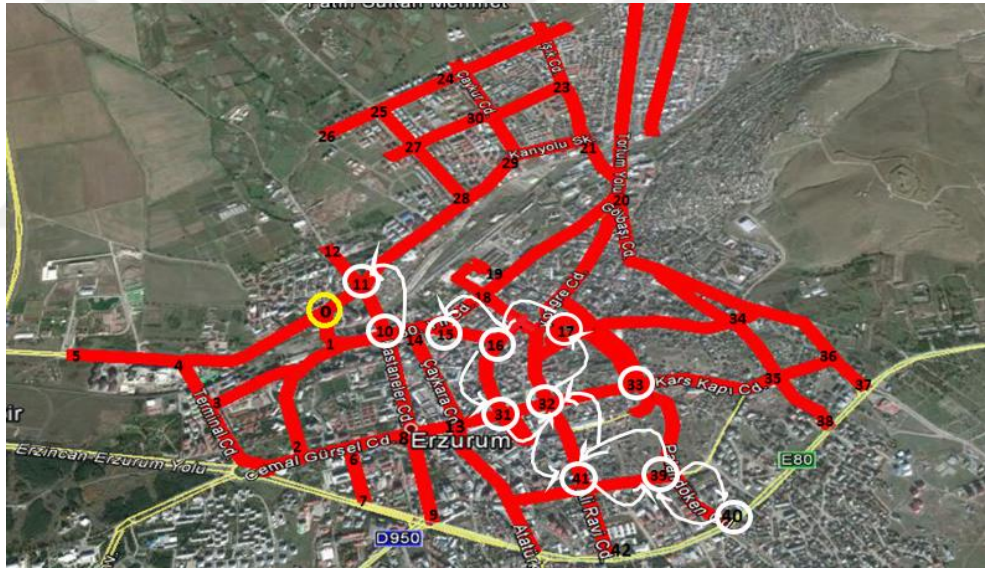
Tur rotası

0->11->10->14->15->16->17->33->35->33->32->31->13->8->6->8->10->1->0

Tuzlama yapılan yerler

11->10, 17->33, 33->35, 35->33, 33->32, 32->31, 31->13, 13->8, 8->6, 6->8

8. Araç



Şekil 4.56. 8. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.56’da tuzlama yapılan yollar görülmektedir. Tur rotası ve tuzlama yapılan yerler aşağıdaki gibidir:

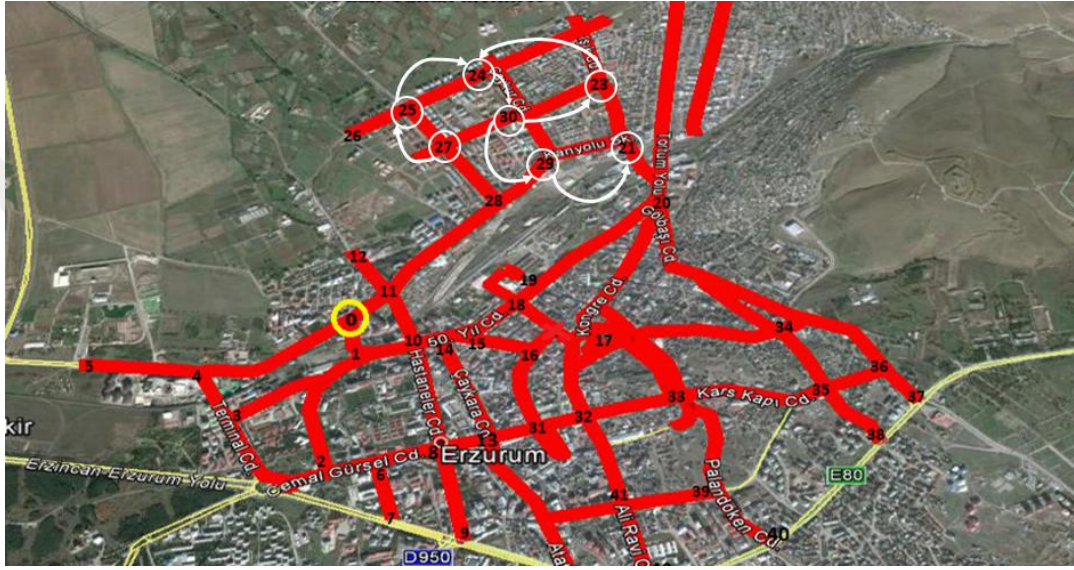
Tur rotası

0->1->10->14->15->16->31->32->41->39->40->39->41->32->17->16->15->14->10->11->0

Tuzlama yapılan yerler

16->31, 31->32, 32->41, 41->39, 39->40, 40->39, 39->41, 41->32, 32->17, 17->16, 16->15, 10->11

9. Araç



Şekil 4.57. 9. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

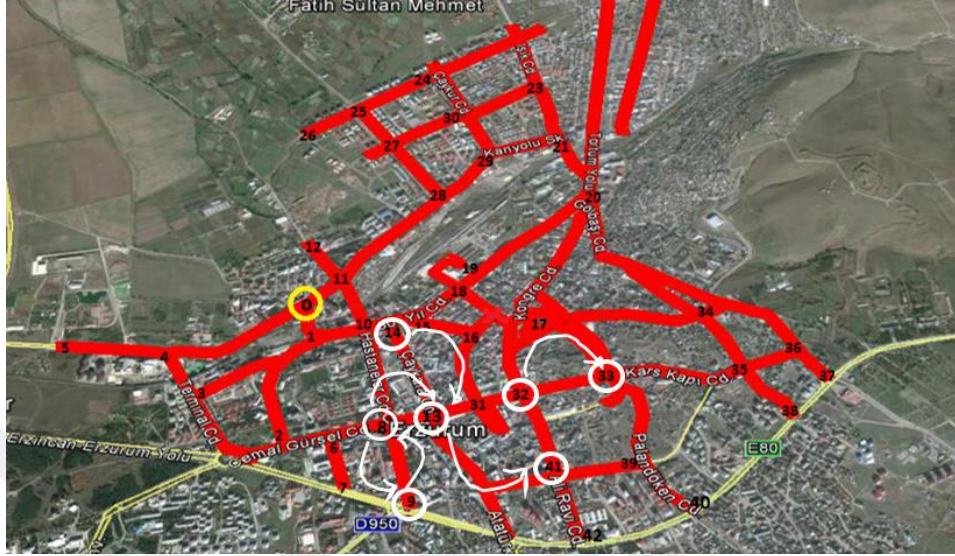
Şekil 4.57’de tuzlama yapılan yollar görülmektedir. Tur rotası ve tuzlama yapılan yerler aşağıdaki gibidir:

Tur rotası

0->11->28->27->25->24->30->23->24->30->29->21->20->17->16->15->14->10->1->0

Tuzlama yapılan yerler, 27->25, 25->24, 24->30, 30->23, 23->24, 30->29, 29->21

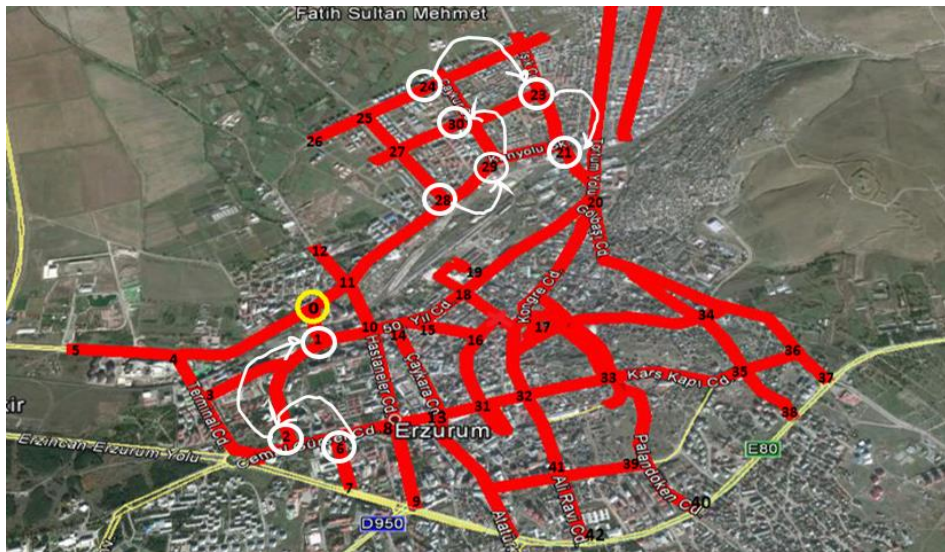
10. Araç



Şekil 4.58. 10. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.58’de Tur rotası, 0->1->10->14->13->8->9->8->13->41->32->33->17->16->15->14->10->1->0 Tuzlama yapılan yerler, 14->13, 8->9, 9->8, 8->13, 13->41, 32->33

11. Araç



Şekil 4.59. 11. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.59’da tuzlama yapılan yollar görülmektedir. Tur rotası ve tuzlama yapılan yerler aşağıdaki gibidir:

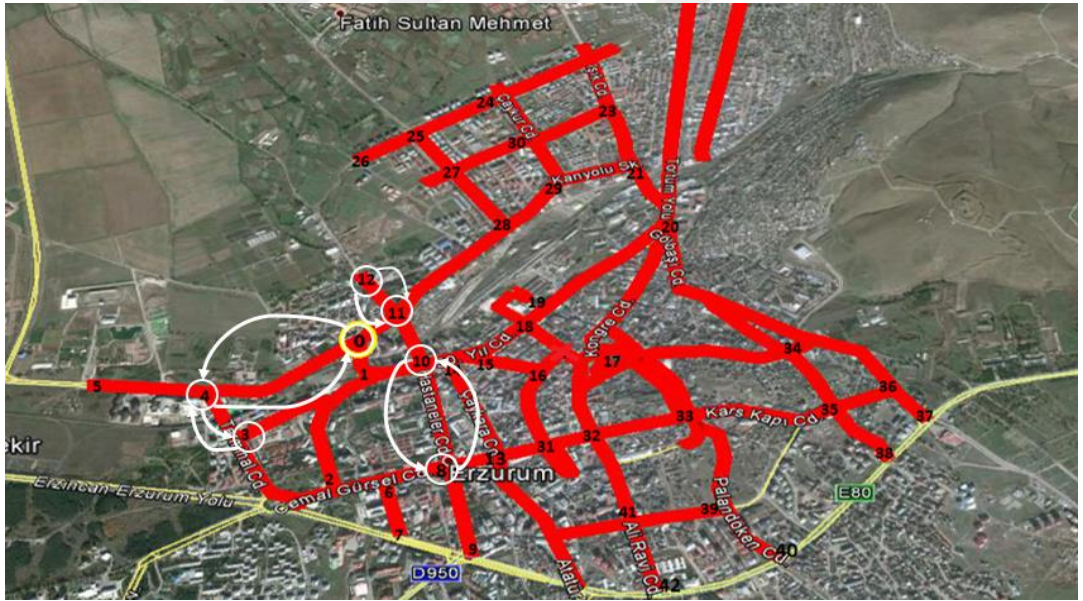
Tur rotası

0->11->28->29->30->24->23->21->20->17->16->31->13->8->6->2->1->0

Tuzlama yapılan yerler

28->29, 29->30, 24->23, 23->21, 6->2, 2->1

12. Araç



Şekil 4.60. 12. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.60’da tuzlama yapılan yollar görülmektedir. Tur rotası ve tuzlama yapılan yerler aşağıdaki gibidir:

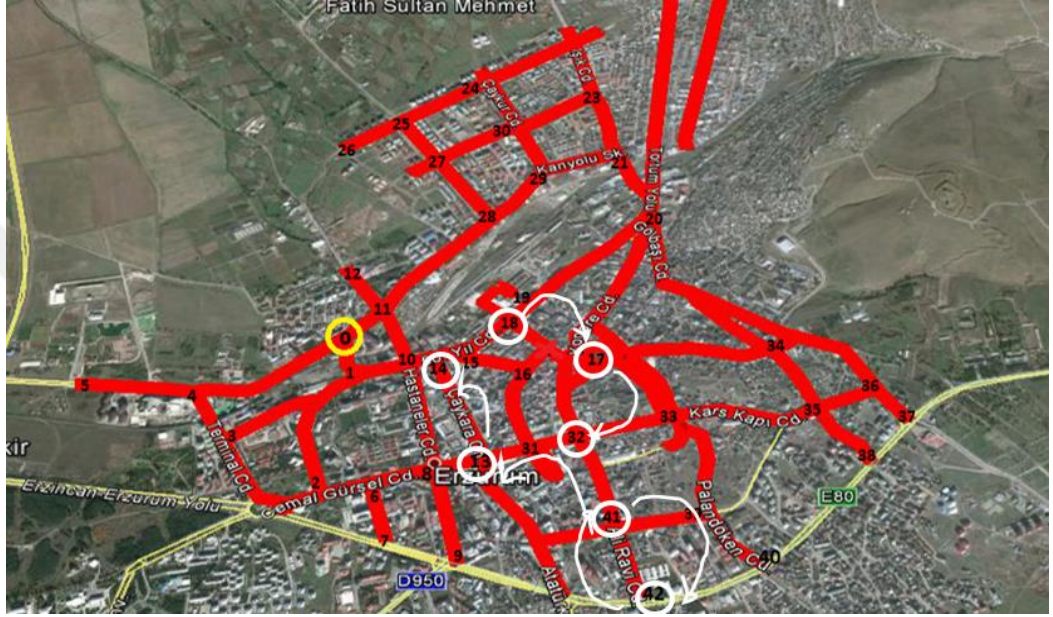
Tur rotası

0->11->12->11->0->4->3->4->0->1->10->8->10->1->0

Tuzlama yapılan yerler

11->12, 12->11, 0->4, 4->3, 3->4, 4->0, 10->8, 8->10

13. Araç



Şekil 4.61. 13. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.61’de tuzlama yapılan yollar görülmektedir. Tur rotası ve tuzlama yapılan yerler aşağıdaki gibidir:

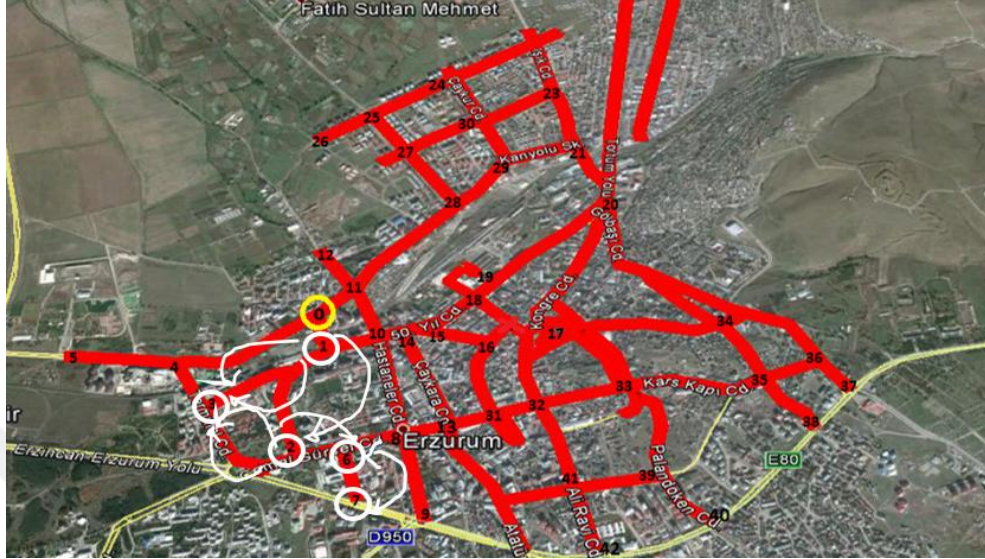
Tur rotası

0->1->10->14->15->18->17->32->41->42->41->13->14->10->1->0

Tuzlama yapılan yerler

18->17, 17->32, 41->42, 42->41, 41->13, 13->14

14. Araç



Şekil 4.62. 14. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.62’de Tur rotası, 0->1->3->2->3->1->0->1->2->6->7->6->2->1->0 Tuzlama yapılan yerler, 1->3, 3->2, 2->3, 3->1, 1->2, 2->6, 6->7, 7->6

15. Araç



Şekil 4.63. 15. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.63’de tuzlama yapılan yollar görülmektedir. Tur rotası ve tuzlama yapılan yerler aşağıdaki gibidir:

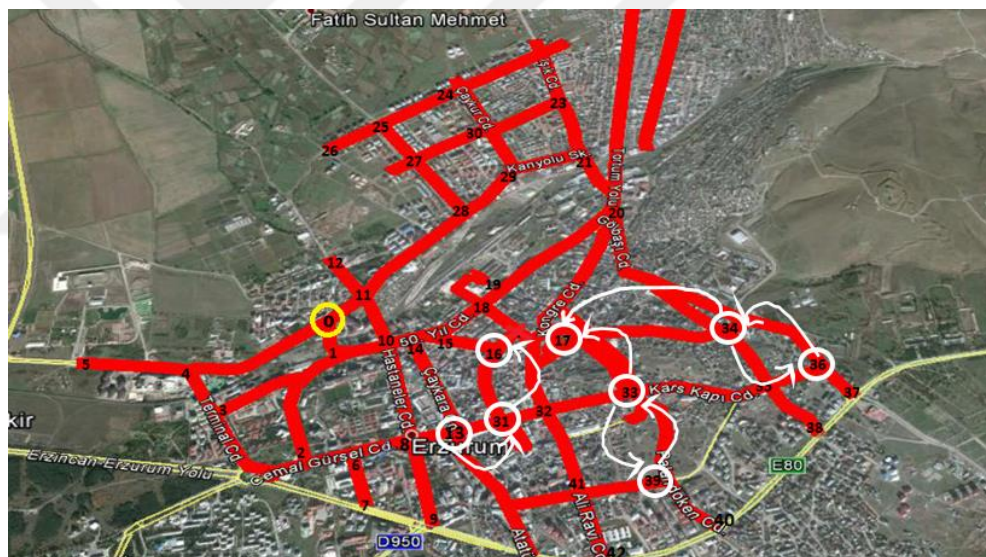
Tur rotas1

0->4->5->4->0

Tuzlama yapılan yerler

5->4

16. Araç



Şekil 4.64. 16. aracın Yakutiye ilçesindeki tuzlama yaptığı yollar

Şekil 4.64’de Tur rotası, 0->1->10->14->15->16->31->13->31->16->17->34->36->34->35->33->39->33->17->34->17->16->15->14->10->1->0

Tuzlama yapılan yerler

13->31, 31->16, 34->36, 36->34, 33->39, 39->33, 33->17, 34->17

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, kışın yolların buzlanması esnasında yapılan tuzlama çalışması için Erzurum Büyükşehir Belediyesinin yetki ve sorumluluğunda olan üç ayrı ilçenin (Aziziye, Palandöken ve Yakutiye) ağ rotalarının durumları araştırılmıştır. İlçelerdeki tuzlama problemi için birden fazla aracın gittiği güzergâhlar GAMS 22.5 programı yardımıyla belirlenmiştir. Kapasiteli kırsal Çinli postacı problemi kapsamında mevcut ilçelerdeki rotalama problemini çözmek için matematiksel modelleme oluşturularak her bir ilçenin en iyi tur rotası belirlenmeye çalışılmıştır.

Elde edilen bulgulara göre Aziziye, Palandöken ve Yakutiye ilçelerine yapılan tuzlama çalışmasında Erzurum Büyükşehir Belediyesi bu iş için toplamda 34 araç kullanmaktadır. Bu araçlardan 4'ü Aziziye ilçesine ait olup 14 araç Palandöken ilçesi ve kalan 16 araç ise Yakutiye ilçesine tahsis edilmiştir. Mevcut duruma göre araçların tuzlama çalışması yapmasında en iyi turu kullanmadıkları tespit edilmiştir. Tespit edilen bu problemin çözümüne yönelik yapılan çalışmada ilk önce her bir ilçenin Google haritasına göre tuzlama yapılan cadde ve sokakların krokisi çıkarılmıştır. Elde edilen haritaların rota uzunlukları ve ilişkiler matrisi GAMS 22.5 programına aktarılmıştır. Aziziye ilçesinde depo düğümü, tuzlama yapılması gerekli olan cadde ve sokakların uzağında konumlandığından dolayı depo ile tuzlanması gereken yollar arasında gezilmesi gereken fakat servis verilmesine gerek olmayan ayrıtlar oluşmuştur.

GAMS 22.5 programından elde edilen sonuçlara göre, Aziziye ilçesinin tuzlama problemi P sınıflı yani polinom zamanlı olarak çözülmüş ve optimum bir sonuç ortaya çıkmıştır. Elde edilen sonuçlar aynı zamanda matematiksel modeldeki bütün kısıtları sağlamıştır. GAMS'den elde edilen optimum sonuç GA ile 7. iterasyonda ve GAMS'e nazaran çok kısa sürede ulaşılmıştır.

Palandöken ve Yakutiye ilçelerinin tuzlama problemi için GAMS programından elde edilen sonuçlarda optimum sonuç bulunamamıştır. Dolayısıyla problem meta sezgisel

yöntemlerden biri olan Genetik Algoritma ile çözülerek optimale yakın sonuçlar bulunmuştur. Model Matlab R2017a programlama dili kullanılarak kodlanmıştır.

Palandöken ve Yakutiye ilçesi için farklı parametre değerleri ile 40 ayrı koşulda çalıştırılan GA iyi sonuçlar üretmiştir. GAMS ve GA sonuçları karşılaştırıldığında en kısa yol uzunluğunda Palandöken ve Yakutiye ilçeleri için %27 ve %24 gibi bir iyileşme olmuştur.

Büyük boyutlu problemler için geleneksel optimizasyon yöntemleri, optimum çözümü bulmakta zorlandıklarından dolayı bu problemleri çözmek için sezgisel ya da meta sezgisel yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Meta sezgisel yöntemlerden biri olan GA diğer klasik sezgisel yöntemlere nazaran daha iyi sonuçlar verdiği için ve aynı zamanda yerel en iyiye takılma durumlarının az olmasından dolayı tercih edilmiştir.

Kamu kaynaklarının etkin ve verimli kullanılması açısından Belediyeye ait araçların tuzlama esnasında çalışmada belirlenen rotaları kullanmalarının daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Palandöken ve Yakutiye ilçelerinde yapılan tuzlama çalışmasının en iyi durumda olmadığı, belirlediğimiz rotanın mevcut durumdan daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Maliyetlerin azalması, zaman ve kaynak israfının önlenmesi açısından tespit edilen tur rotalarının kullanılmasının daha iyi olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, yerel yönetimlerde yapılacak olan tuzlama ve çöp toplama gibi hizmetlerde gidilecek tur rotalarının çözümü için sezgisel ya da meta sezgisel yöntemlerle çözülmesi gerektiği ortaya konmuştur.

Çalışmadaki önerileri şu şekilde sıralayabiliriz:

Gelecekteki çalışmalar için;

- Bu çalışmada kullanılan GA tekniği farklı meta sezgisel yöntemler ile karşılaştırmalar yapılarak algoritmaların performansları ölçülebilir. Yapılan karşılaştırmalar

neticesinde hangi yöntemlerin daha etkin ve daha hızlı sonuçlar ürettiği tespit edilebilir.

- Çalışmada GA meta sezgiselinde kullanılan parametre değerleri (popülasyon büyüklüğü, mutasyon oranı, çaprazlama oranı, kuşak farkı) farklı değerler için ele alınıp incelenebilir.



KAYNAKLAR

- Afsar, H., 2010. A branch-and-price algorithm for capacitated arc routing problem with flexible time windows. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 36, 319-326.
- Ahr, D. and Reinelt, G., 2006. Tabu search algorithm for the min-max k -Chinese postman problem. *Computers & Operations Research*, 33(12), 3403-3422.
- Ahuja, R., Magnanti, T., Orlin, J., Reddy, M., 1995. Applications of network optimization. *Handbooks in OR & MS*, 7 (1), 1-83.
- Akyurt, İ. Z., Keskindürk, T., Kalkancı, Ç., 2015. Using Genetic Algorithm for Winter Maintenance Operations: Multi Depot K- Chinese Postman Problem. *Emerging Markets Journal*, 5(1).
- Alkan, A., 2014. Gezin Satıcı Problemi İçin Veri Madenciliği Tabanlı Bir Model Önerisi. Doktora Tezi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli.
- Altay, A., 2007. Genetik Algoritma Ve Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Amaya, A., Langevin, A., Trepanier, M., 2007. The capacitated arc routing problem with refill points. *Operations Research Letters*, 35 (1), 45-53.
- Amponsah, S., Salhi, S., 2004. The investigation of a class of capacitated arc routing problems: the collection of garbage in developing countries. *Waste Management*, 24 (7), 711-721.
- Aminu, U., Eglese, R., 2006. A constraint programming approach to the Chinese postman problem with time windows, *Computers & Operations Research*, 33, 3423-3431.
- Arakaki, R., Usberti, F., 2018. Hybrid genetic algorithm for the open capacitated arc routing problem. *Computers & Operations Research*, 90 (1), 221-231.
- Archetti C., Guastaroba, G., Speranza, M., 2013. Reoptimizing the rural postman problem. *Computers & Operations Research*, 40 (5), 1306-1313.
- Assad *et al.* 1987. The capacitated Chinese postman problem: Lower bounds and solvable cases. *American Journal of Mathematical and Management Sciences*, 7 (1-2), 63-88.
- Avila, T., Corberán, A., Plana, I., M. Sanchis, 2016. A branch-and-cut algorithm for the profitable windy rural postman problem. *European Journal of Operational Research*, 249 (3), 1092-1101.
- Ayan, T., 2008. Sabit Maliyetli Ulaştırma Problemi İçin Bir Genetik Algoritma. Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 10(1), 97-116.
- Aydemir, E., 2009. Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Öncelik Kuralı Tabanlı Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Simülasyon Destekli Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- Belenguer, J., Benavent, E., Lacomme, P., Prins, C., 2005. Lower and upper bounds for the mixed capacitated arc routing problem. *Computers & Operations Research*, 33 (2) 3363-3383.
- Belenguer, J., Benavent, E., 2003. A cutting plane algorithm for the capacitated arc routing problem. *Computers & Operations Research*, 30 (5), 705-728.
- Benavent, E., Corberan, A., Sanchis, J., Plana, I., 2009. Min-max k -vehicles windy rural postman problem. *Networks*, 54(4), 216-226.
- Beullens, P., Muyldermans, L., Catrysse, D., Oudheusden, D., 2003. A guided local

- search heuristic for the capacitated arc routing problem. *European Journal of Operational Research*, 147 (3), 629-643.
- Brandao, J., Eglese, J., 2008. A deterministic tabu search algorithm for the capacitated arc routing problem. *Computers & Operations Research*. 35 (4), 1112 –1126.
- Chen, Y., Hao, J., 2018. Two phased hybrid local search for the periodic capacitated arc routing problem. *European Journal of Operational Research*, 264(11), 55-65.
- Chen, Y., Hao, J., Glover, F., 2016. A hybrid metaheuristic approach for the capacitated arc routing problem. *European Journal of Operational Research*, 253(1), 25-39.
- Cherif, W., 2006. Evolutionary algorithms for capacitated arc routing problems with time windows. *IFAC Proceedings Volumes*, 39(3), 321-326.
- Christiansen, C., Lysgaard, J., Wøhlk, S., 2009. A branch-and-price algorithm for the capacitated arc routing problem with stochastic demands. *Operations Research Letters*, 37 (6), 392-398.
- Christofides, N., Beasley, J., E, 1984. The period routing problem. *Networks*, 14 (2), 237-256.
- Corberan, A., Marti, R., Sanchis, J., 2002. GRASP heuristic for the mixed Chinese postman problem. *European Journal of Operational Research*, 142 (1), 70-80.
- Degenhardt, J., 2004. An ant-algorithm for the balanced k-Chinese postman problem, In *Operations Research Conference*, Tilburg University.
- Derigs, U., 2009. *Optimization And Operations Research*. Eolss Publishers Co. Ltd, 265, Oxford, United Kingdom.
- Dil, Y., 2015. Yazılım Projelerinin Optimizasyon Problemi Olarak İncelenmesi Ve Genetik Algoritma İle Çözümü. Yüksek Lisans Tezi, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Doulabi, S., Seifi, A., 2013. Lower and upper bounds for location-arc routing problems with vehicle capacity constraints. *European Journal of Operational Research*, 224 (1), 189-208.
- Edmonds, J., Jhonson, E., 1973. Matching, Euler tours and the Chinese postman. North-Holland Publishing Company, 88-124.
- Eglese, R. W. 1994. Routing winter gritting vehicles. *Discrete applied Mathematics*, 48, 231-244.
- Eiselt, H., Gendreau, M., Laporte, G., 1995. Arc Routing Problems, Part I: The Chinese Postman Problem. *Operations Research*, Maryland, USA, 231-241.
- Emel, G. G., Taşkın, Ç., Dinç, E., 2004. Yönsüz Çinli postacı problemi: Polis devriye araçları için bir uygulama. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(1), 121-140.
- Eroğlu, E., 2015. A Single Chinese Postman Problem With Two Objectives. MS Thesis, Industrial Engineering Department, Middle East Technical University.
- Erpik, Z., 2019. Hat Çizelgeleme Problemine Genetik Algoritma Yaklaşımı: İett Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Florian, M. 1984. An introduction to network models used in transportation planning, in: M. Florian, ed., *Transportation Planning Models*, North-Holland, Amsterdam, 137-152.
- Fung, R., Liu, R., Jiang, Z., 2013. A memetic algorithm for the open capacitated arc routing problem. *Transportation Research*, 50 (1), 53-67.
- Golden, B., Wong, R., 1981. Capacitated arc routing problems. *Networks*, 11(3), 305-315.

- Golden, Wong, 1981. Capacitated arc routing problems, *Networks*, 11(3), 305-315.
- Gönüloğlu, S., 2009. Gezgin Satıcı Problemi İçin Veri Madenciliği Tabanlı Sezgisel Bir Yaklaşım. Yüksek Lisans Tezi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli.
- Greistorfer P., 1994. Computational experiments with heuristics for a capacitated arc routing problem. *Operations Research Proceedings*, 185-190.
- Gribkovskaia, et.al., 2007. Static pickup and delivery problems: a classification scheme and survey. *An Official Journal of the Spanish Society of Statistics and Operations Research*, 15(1), 45-47.
- Groves, G., Vuuren, J., 2005, Efficient heuristics for the rural postman problem. *Orion*, 21 (1), 33-51.
- Hertz, A., 2001. Recent trends in arc routing. *Operations Research Computer Science Interfaces Series*, 34, 215-236.
- Hertz, A., Mittaz, M., 2001. A variable neighborhood descent algorithm for the undirected capacitated arc routing problem. *Département de Mathématiques*, 35(4), 425-434.
- Hosseini, S., 2016. Path Tracking Methodologies For Mobile Robots, M.Sc. Thesis, Department of Control and Automation Engineering, İstanbul.
- Hua, J., S., K., 2003. Genetic algorithm for Chinese postman problem. *Natural Sciences*, 8(1), 316-318.
- Huang, S., Lin, P., 2012. Multi-treatment capacitated arc routing of construction machinery in Taiwan's smooth road Project. *Automation in Construction*, 21, 210-218.
- Junwey, F., 2014, Integer Programming modelling for Chinese problems. *Prestige International Journal Of Management*, 3(2), 42-49.
- Karskens, J., 2013. Route Optimization with Capacity Constraints, Mail Delivery Problem, *Matematik Dünyası*, 2003 Güz
- Kirlik, G., 2009. Yeni Bir Kapasiteli Ayırıt Rotalama Problemi ve Çözüm Yaklaşımları. Y.Lisans Tezi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Kokubugata, H., Hirashima, K., Kawashima, H., 2006. A practical solution of capacitated arc routing for city logistics, *IFAC Proceedings*, 39(12), 543-547.
- Korteweg, P., Volgenant, P., 2006. On the hierarchical Chinese postman problem with linear ordered classes. *European Journal of Operational Research*, 169(1), 41-52.
- Kramberger, T., and Zerovnik, J., 2007. Priority constrained Chinese postman problem. *Logistics & Sustainable Transport*, 1(1).
- Lacomme, P., Prins, C., Sevaux, M., 2006. A genetic algorithm for a bi-objective capacitated arc routing problem. *Computers & Operations Research*, 33(12), 3473-3493.
- Letchford, A., Oukil, A., 2009. Exploiting sparsity in pricing routines for the capacitated arc routing problem. *Computers & Operations Research*, 36(7), 2320-2327.
- Limon, Y., 2015. On The Balanced K-Chinese Postman Problems. MS Thesis, Industrial Engineering Department, Middle East Technical University.
- Liu, M., Singh, H., Ray, T., 2014. Application specific instance generator and a memetic algorithm for capacitated arc routing problems. *Transportation Research Part C*, 43 (4), 249–266.
- Ma, Y., Tian, G., Li, X., 2015. Genetic algorithm for capacitated Chinese postman problem on mixed networks. *Applied Mechanics and Materials*, 701-702, 44-49.

- Martinelli, R., Poggi, M., Subramanian, A., 2013. Improved bounds for large scale capacitated arc routing problem. *Computers & Operations Research*, 40(8), 2145-2160.
- Masuyama, H., Ichimori, T., Sasama, T., 2006. On ability of orthogonal genetic algorithms for the mixed Chinese postman problem. *ICSOF Proceedings*, 1. 39-46. .
- Monroy, I., Amaya, C., Langevin, A., 2013. The periodic capacitated arc routing problem with irregular services. *Discrete Applied Mathematics*, 161(4-5), 691-701.
- Moreira, M. D., Ferreira, J. S., 2010. A genetic algorithm for the undirected rural postman problem. *Instituto de Engenharia de Sistemas e de Computadores do Porto*, 12(4).
- Mourao, M., Amado, L., 2005. Heuristic method for a mixed capacitated arc routing problem: A refuse collection application. *European Journal of Operational Research*, 160 (1), 139-153.
- Muyldermans, L., Pang, G., 2010. A guided local search procedure for the multi-compartment capacitated arc routing problem. *Computers & Operations Research*, 37(9), 1662-1673.
- Nobert, Y., Picard. J. C., 1991. An optimal algorithm for the mixed chinese postman proble. *Networks*, 27, 97-108.
- Osterhues, A., Mariak, F., 2005. On variants of the k-Chinese postman problem. *Operations Research and Wirtschaftsinformatik*, 30 (5).
- Ölmez, S., 2019. Yazılım Tanımlı Ağlarda Genetik Algoritma Tabanlı Multimetrik Yönlendirme. Yüksek Lisans Tezi, Enformatik Anabilim Dalı, Kahramanmaraş.
- Özdemir, İ., Aytekin, O., Kuşan, H., 2011. Kent Bölge Ve Altbölge Hizmet Serimlerinde Enkka Ve Enbka Yöntemleri Kullanılarak Toplam Değer Eniyileme, *New World Sciences Academy*, 7(2), 384-393.
- Özkan, S., 2010. Gezin Satıcı Probleminin Çözümüne Yönelik Algoritmik Yaklaşımlar. Yüksek Lisans Tezi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Palma, G., 2011. A tabu search heuristic for the prize-collecting rural postman problem. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, 281, 85-100.
- Pandi, R., Muralidharan, B., 1995. A capacitated general routing problem on mixed networks. *Computers & Operations Research*, 22(5), 465-478.
- Papadimitriou, C., H., 1976. The NP-Completeness of the bandwidth minimization problem, *Computing*, 16(3), 263-270.
- Pearn, W., Chou, J., 1999. Improved solutions for the Chinese postman problem on mixed networks. *Computers & Operations Research*, 26(1), 819-827.
- Pearn, W., Liu, C., 1994, Algorithms For The Chinese Postman Problem On Mixed Networks, *Computers Operations Research*, 22(5), 479-489.
- Platz, T. and Hamers H., 2012. On games arising from multi-depot Chinese postman problems. *Discussion Papers on Business and Economics*, 24.
- Rabbani, M. Alamdar, S., Asl, H., 2016, Capacitated windy rural postman problem with several vehicles: A hybrid multi-objective simulated annealing algorithm. *Supply and Operations Management*, 2(4), 1003-1020.
- Santos, L., Rodrigues, J., Current, J., 2010. An improved ant colony optimization based algorithm for the capacitated arc routing problem. *Transportation Research Part B: Methodological*. 44(2), 246-266.

- Shangaiyah, A., Han, M., Zhang, S., 2014. An investigation of dijkstra and floyd algorithms in national city traffic advisory procedures. *Computer Science and Information Technology*, 3(2), 124-138.
- Sara, D., 2019. Tek Makineli Çok Ölçütlü İş Sıralama Ve Çizelgeleme Probleminin Genetik Algoritma İle Çözülmesi: Alüminyum Sektöründe Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi. Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli.
- Sorge, M., Bevern, R., Niedermeier, R., Weller, M., 2012. A new view on Rural Postman based on Eulerian Extension and Matching. *Journal of Discrete Algorithms*, 16, 32-33.
- Söyler, H., Fendoğlu, E., 2019. Çinli postacı probleminin genetik algoritma ve coğrafi bilgi sistemi QGIS ile çözüm. *Akademik Yaklaşımlar Dergisi*, 10(1).
- Stricker, R., 1969. Public Sector Vehicle Routing The Chinese Postman Problem. MS Thesis, Massachusetts Institute Of Technology, Cambridge.
- Summerfield, S., Dror, M., Cohen A., 2015. City streets parking enforcement inspection decisions: The Chinese postman's perspective, *European Journal of Operational Research*, 242(1), 149-160.
- Suvay, H., 2019. Sınav Çizelgeleme Probleminin Çözümü İçin Genetik Algoritma Yaklaşımı. Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas.
- Tagmouti, M., Gendreau, M., Potvin, J., 2011. A Dynamic capacitated arc routing problem with time-dependent service costs, *Transportation Research Part C Emerging Technologies*, 19(1).
- Tagmouti, M., Gendreau, M., Potvin, J., 2010. A variable neighborhood descent heuristic for arc routing problems with time-dependent service costs. *Computers & Industrial Engineering*, 59(4), 954-963.
- Thimbleby, H., 2003, The directed Chinese postman problem, *Software Practice And Experience*, 33(11), 1081-1096.
- Tirkolaee, E., Alinaghian, M., Hosseinabadi, A., Sasi, M., Sangaiah, A., 2018. An improved ant colony optimization for the multi-trip Capacitated Arc Routing Problem. *Computers & Electrical Engineering*, .2018(21), 1-15.
- Tirkolaee, E., Mahdavi, I., Esfahani, M., 2018. A robust periodic capacitated arc routing problem for urban waste collection considering drivers and crew's working time. *Waste Management*, 76(2), 138-146.
- Usberti, F., França, P., França, A., 2011. The open capacitated arc routing problem. *Computers & Operations Research*, 38(11), 1543-1555.
- Vanssteenwegen, P., Souffriau, W., Sörensen, K., 2010. Solving the mobile mapping van problem: A hybrid metaheuristic for capacitated arc routing with soft time Windows. *Computers & Operations Research*, 37(11), 1870-1876.
- Vural, M., 2005. Genetik Algoritma Yöntemi İle Toplu Üretim Planlama. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Xu, H., Zhang, C., Tan, Y., Lu, J., 2011. An improved evolutionary approach to the extended capacitated arc routing problem. *Expert Systems with Applications*, 38 (2011), 4637-4641.
- Wang, Z., Jin, H., Tian, M., 2015. Rank-based memetic algorithm for capacitated arc routing problems. *Applied Soft Computing*, 37, 572-584.
- Willemse, E., Joubert, J., 2016. Splitting procedures for the mixed capacitated arc routing problem under time restrictions with intermediate facilities. *Operations Research Letters*, 44(5), 569-574.

- Wohlk, S., 2008. A Decade of Capacitated Arc Routing. *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges*, Golden, B., Raghavan, Wasil, Edward. S. Department of Business Studies, Boston, 29-48.
- Zachariadis, E. and Kiranoudis, C., 2011. Local search for the undirected capacitated arc routing problem with profits. *European Journal of Operational Research* 210, 358–367.
- Zhang, B., Peng, J., 2012. Chinese postman problem in uncertain network. *Industrial Engineering & Management Systems*, 12(1), 233-235.
- Zhang, Y., Mei, Y., Tang, K., Jianj, K., 2017. Memetic algorithm with route decomposing for periodic capacitated arc routing problem. *Applied Soft Computing*, 52, 1130-1142.



ÖZGEÇMİŞ

1 Haziran 1991 tarihinde Erzurum’da doğdu. 2009 yılında Erzurum Hacı Sami Boydak Lisesi’nden mezun oldu. 2013 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimini tamamladı. 2014 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında ve aynı zamanda, 2015 yılında Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkiler bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı.

