



**YENİ BİR KAPASİTELİ ÇİNLİ POSTACI PROBLEMİ  
VARYANTI: GERÇEK BİR UYGULAMA**

**Nazlı KUTUR**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**2022**

(Her hakkı saklıdır)

T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**YENİ BİR KAPASİTELİ ÇİNLİ POSTACI PROBLEMİ VARYANTI: GERÇEK BİR  
UYGULAMA**

(A New Variant of Capacitated Chinese Postman Problem: A Real Application)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nazlı KUTUR

Danışman: Doç. Dr. Muhammed Emre KESKİN

Erzurum

Temmuz, 2022



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
Graduate School of Natural and  
Applied Sciences

T.C.

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ**

**TEZ KABUL VE ONAY TUTANAĞI**

**YENİ BİR KAPASİTELİ ÇİNLİ POSTACI PROBLEMİ VARYANTI: GERÇEK BİR  
UYGULAMA**

Doç. Dr. Muhammed Emre KESKİN danışmanlığında, Nazlı KUTUR tarafından hazırlanan bu çalışma, 06/07/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliği Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği / oy çokluğu** (.../...) ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Doç. Dr. <del>Burak</del> ERKAYMAN	Aslı Islak İmzalıdır
	<i>Atatürk Üniversitesi</i>	
Danışman:	Doç. Dr. Muhammet Emre KESKİN	Aslı Islak İmzalıdır
	<i>Atatürk Üniversitesi</i>	
Jüri Üyesi:	Dr. Öğr. Üyesi <del>Nadide</del> ÇAĞLAYAN	Aslı Islak İmzalıdır
	<i>Erzurum Teknik Üniversitesi</i>	

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

**Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN**

**Enstitü Müdürü**

Aslı Islak İmzalıdır

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



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
Graduate School of Natural and  
Applied Sciences

**T.C.**  
**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ**

**ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU**

*Yüksek Lisans Tezi olarak Doç. Dr. Muhammed Emre KESKİN danışmanlığında sunulan “Yeni Bir Kapasiteli Çinli Postacı Problemi Varyantı: Gerçek Bir Uygulama ” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.*

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	%0	30
Kuramsal Temeller	%10	30
Materyal ve Metot	%1	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	%2	20
Sonuçlar ve Öneriler	2	20
Tezin Geneli	%9	25

*Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.*

Sunulan bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ettiğimizi beyan ederiz.

<b>Tez Yazarı (Öğrenci)</b>	<b>Tez Danışmanı</b>
<b>Nazlı KUTUR</b>	<b>Doç Dr. Muhammed Emre KESKİN</b>
<b>6.7.2022</b>	<b>6.7.2022</b>
İmza:	İmza:
Aslı Islak İmzalıdır	Aslı Islak İmzalıdır

\* Tez ile ilgili YÖKTEZ'de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../.... tarih ve ..... sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../.... tarih ve ..... sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

## TEŐEKKÖR

Tezin hazırlanmasında her konuda bana destek olan ve benden hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Muhammed Emre KESKİN'e ve bana maddi, manevi her türlü desteği sağlayan aileme teőekkürlerimi sunarım.

Nazlı KUTUR



## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### YENİ BİR KAPASİTELİ ÇİNLİ POSTACI PROBLEMİ VARYANTI: GERÇEK BİR UYGULAMA

Nazlı KUTUR

Danışman: Doç. Dr. Muhammed Emre KESKİN

Temmuz 2022, 52 sayfa

**Amaç:** Bu çalışmada Çinli Postacı Probleminin bir türü olan Kapasiteli Çinli Postacı Problemi kullanılarak, Bitlis'in Tatvan ilçesine bağlı Pınarbaşı mahallesine ait sokakların kar küreme çalışmalarının en düşük maliyetle yapılması için, en iyi ya da en iyiye yakın rotaların bulunması amaçlanmıştır.

**Yöntem:** Bu çalışmada, Çinli Postacı Probleminin bir çeşidi olan Kapasiteli Çinli Postacı Problemi kullanılmıştır. Bu çalışma 5 aşamadan oluşmaktadır. İlk bölümde, problem ile ilgili giriş kısmı verilmiştir. İkinci bölümde; ARP, KÇPP ve ÇPP ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalara yer verilmiştir. Üçüncü bölümde; bu çalışma için uygulama yöntemi anlatılmıştır. Dördüncü bölümde çalışmaya ait bulgulara yer verilmiştir. Beşinci bölümde konuya ilişkin sonuçlar özetlenmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

**Bulgular:** Çalışma sonucunda, KARP kullanılarak en iyiye yakın rotalar elde edilmiştir. Ele alınan sorun büyük olup, çözümü için Visual Studio ile bir yazılım geliştirilmiş ve Gurobi çözücüsü kullanılarak etkin bir sonuç elde edilmiştir.

**Sonuç:** Rotalama problemlerinin amacı, maliyet ve zaman açısından kaynaklanan zararların minimuma indirgemektir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar neticesinde bu problemlerin bu zararları en aza indirdiğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çinli Postacı Problemi, Kapasiteli Çinli Postacı Problemi, Ayrıt Rotalama Problemi

Haziran 2022, 52 sayfa

## ABSTRACT

### MASTER THESIS

#### A NEW VARIANT OF CAPACITATED CHINESE POSTMAN PROBLEM: A REAL APPLICATION

Nazlı KUTUR

Supervisor: Doç Dr. Muhammed Emre KESKİN

July 2022, 52 pages

**Purpose:** In this study, the Capacitated Chinese Postman Problem which is a type of the Chinese Postman Problem, is used. For this reason, within the scope of the research. It is aimed to find the best or close to the routes in order to carry out the snow removal works of the streets of Pınarbaşı neighborhood of Tatvan district of Bitlis at the lowest cost.

**Method:** In this study, the Capacitated Chinese Postman Problem, which is a type of the Chinese Postman Problem, is used. This study consists of 5 stages. In the first part, an introduction to the problem is given. In the second part; Previous studies on ARP, RCPP and EPP are included. In the third part; The application method for this study is described. In the fourth part, the findings of the study are given. In fifth part, the results related to the subject are summarized and suggestions are made.

**Results:** The results of the study, near-best routes were obtained by using KARP. The problem addressed is big, a software was developed with Visual Studio for its solution and an effective result was obtained by using Gurobi solver.

**Conclusion:** The aim of routing problems is to minimize the damage caused in terms of cost and time. The results obtained from this study showed that routing problems minimize these damages.

**Keywords:** Capacitated Chinese Postman Problem, Chinese Postman Problem, The Arc Routing Problem

June 2022, 52 pages

## İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAY TUTANAĞI .....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	x
GİRİŞ.....	1
KURAMSAL TEMELLER.....	3
Rotalama Problemleri.....	9
Düğüm rotalama problemleri .....	9
Ayrıt rotalama problemi .....	10
Çinli Postacı Problemi .....	12
Çinli postacı problemi çeşitleri .....	13
MATERYAL VE YÖNTEM .....	18
Problem Tanımı.....	18
Verilerin toplanması.....	18
Uygulama .....	22
Kapasiteli Çinli Postacı Problemi İçin Geliştirilen Matematiksel Model .....	22
Kapasiteli Çinli Postacı Problemine Ait Modelin C#'da Kodlanması.....	25
Probleme ait verilerin C#'da kodlanması.....	25
Probleme ait verilerin programa tanıtılması.....	25
Probleme ait matematiksel modelin C#'da kodlanması.....	25
Probleme ait sonuç kısmının C#'da kodlanması .....	25
TARTIŞMA VE BULGULAR.....	26
Kapasiteli Çinli Postacı Problemi Model Sonuçları.....	26
Pınarbaşı Mahallesiine Ait Temizleme Yapılan Yollar .....	26
Visual Studio Programından Elde Edilen Sonuçlara Göre Araçlara Ait En İyi Rotalar .....	27
Araca ait rota .....	28
Araca ait rota .....	29
Araca ait rota .....	30



SONUÇ VE ÖNERİLER .....	31
KAYNAKLAR.....	33
EKLER .....	36
EK 1 .....	36
EK 2 .....	37
EK 3 .....	38
EK 4 .....	39
ÖZGEÇMİŞ.....	40



## TABLolar DİZİNİ

<b>Tablo 1.</b> Pınarbaşı Mahallesi Sınırları İçinde Temizleme Çalışmaları Yapılan Tüm Sokaklar ve Bu Sokakların Birbirleri ile Olan Bağlantıları .....	19
<b>Tablo 2.</b> Pınarbaşı Mahallesi Sınırları İçinde Temizleme Çalışmaları Yapılan Tüm Sokaklar ve Bu Sokaklara Ait Uzunluklar Matrisi .....	20
<b>Tablo 3.</b> Pınarbaşı Mahallesi Sınırları İçinde Temizleme Çalışmaları Yapılan Tüm Sokaklar ve Bu Sokaklara Ait Maliyet Matrisi .....	21
<b>Tablo 4.</b> Küme Ve İndeks Tanımları .....	22
<b>Tablo 5.</b> Parametreler ve Tanımlar .....	22



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Altı düğümünden oluşan bir şebeke etrafındaki hamilton turu.....	10
Şekil 2. Königsberg kentinde bulunan 7 adet köprü ve kara parçaları.....	12
Şekil 3. Königsberg kentinde bulunan 7 adet köprüye ve kara parçalarına ait kapalı şebeke..	12
Şekil 4. 9 düğüm 10 kenardan oluşan karma bir şebeke .....	14
Şekil 5. 4 düğüm ve 7 kenardan oluşan yönlü bir şebeke .....	14
Şekil 6. 5 düğüm ve 6 kenardan oluşan yönsüz bir şebeke .....	15
Şekil 7. Pınarbaşı mahallesine ait temizleme yapılan yollar .....	26
Şekil 8. Şebeke üzerine eklenen boşaltım noktaları .....	27
Şekil 9. 1. Aracın kar temizleme işlemi yaptığı yollar ve uğradığı boşaltım noktaları.....	28
Şekil 10. 2. Aracın kar temizleme işlemi yaptığı yollar ve uğradığı boşaltım noktaları.....	29
Şekil 11. 3. Aracın kar temizleme işlemi yaptığı yollar ve uğradığı boşaltım noktaları.....	30

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

$G(V; E)$	Kenarlar ve düğümlerden oluşan yönsüz bir graf
$V$	Düğümler kümesi
$E$	Kenarlar kümesi
$K$	Birbiriyle özdeş araçların sayısı
$k$	Bir araç için indeks
$L$	Adım sayısı
$l$	Adım için indeks
$i, j$	Düğüm indeksleri
$C_{ij}$	Araçların bir $i$ düğümünden $j$ düğümüne geçiş maliyeti
$d_{ij}$	Düğümlerde biriken kar miktarı
$a_j$	Şebeke üzerindeki boşlatım noktaları
$W$	Bir araca ait kapasite

### 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
TBA	Tavlama benzetimi algoritması
MMKSA	Max-min karınca sistemi algoritması

## GİRİŞ

Günümüzde artan insan taleplerine karşılık olarak ulaşım, iletişim, altyapı, taşımacılık gibi sektörlerle olan önem de artmıştır. Bundan dolayı, şehirlerdeki hizmetlerin en iyilenmesi amacıyla yöneylem araştırması kullanımına yönelik çalışmalar artmaktadır. Hem özel hem de kamu kuruluşları taşımacılığa verilen önemi arttırmaktadır. Örnek olarak üretim yapan bir fabrikaya ait ürünlerin en kısa yoldan en düşük maliyetle taşınması olayı veya hizmet veren bir belediyenin çöpleri en kısa sürede ve en az mesafe kat ederek toplaması, yollardaki karları en az mesafe kat ederek temizlemesi, en az maliyetle yol tuzlama çalışması yapması sayılabilir. Taşımacılık yapılırken amaç, en kısa yoldan en düşük maliyetle hizmet vermektir. Bunları sağlamak amacıyla çeşitli problemler geliştirilmiştir. Bu problemler araç rotalama problemi (ARÇP), Çinli postacı problemi (ÇPP) gibi problemlerdir.

Rotalama problemleri düğüm ve ayrıt rotalama (ARP) olmak üzere ikiye ayrılır.

Düğüm rotalamada bir şebeke üzerindeki düğümler, ayrıt rotalamada ise şebekenin ayrıtları ele alınır. Düğüm rotalama problemlerinin amacı, yalnızca düğümlere uğrayarak en kısa yolun bulunmasıdır. Ayrıt rotalama problemlerinde ise asıl amaç, bir şebeke üzerinde var olan tüm ayrıtlardan en az bir kere geçip, başlangıç düğümüne tekrar dönen en kısa yolu veya yolları belirlemektir. ÇPP, bu ayrıt rotalama problemlerinden biridir.

İlk olarak Çinli bir matematikçi tarafından incelenen ÇPP (Ahuja ve arkadaşları 1995), herhangi bir postacının postaneden dağıtmak üzere aldığı mektupları, şehirdeki tüm sokaklara uğrayarak mümkün olan en kısa yolları kullanarak dağıtmak istemesiyle ortaya çıkmıştır. Postacı mektupların dağıtımını bitirdikten sonra başlangıç noktası olan postaneye geri dönmek zorundadır (Edmonds ve Johnson 1973).

ÇPP gerçek hayatta mektup dağıtma, polis araçlarının devriye rotaları, yol bakımı, kar temizleme araçlarının güzergâhlarının belirlenmesi, otobüs yollarının belirlenmesi, tuzlama araçlarının rotaları gibi pekçok alanda karşımıza çıkmaktadır. ÇPP bir anlamda, her kenarın en az bir kez geçileceği en kısa turu bulma problemidir. Dolayısıyla, bir postacının karşılaştığı bir şebekede, her bir kenar boyunca posta teslim edilmeli ve tekrar başlangıç noktasına geri dönülmelidir (Edmonds ve Johnson 1973). Başka bir tanıma göre ÇPP’de bir şebeke üzerinde, şebekedeki her bir ayrıtı en az bir kez geçen minimum toplam mesafe çevrimini belirlemek amaçlanmaktadır (Hertz ve Mittanz 2001).

Kapasiteli Çinli Postacı Problemi(KÇPP), ÇPP'nin bir çeşididir. KÇPP, bir şebeke üzerindeki ağlardan gelen taleplerin minimum toplam maliyetle, sabit kapasiteli araçlar tarafından karşılanması gereken bir problemdir. KÇPP'de; araçlar şebeke üzerindeki bütün ayrıtlardan geçip, tekrar başlangıç noktası olan depoya geri dönerek turlarını tamamlamaktadır.

Bu çalışma da KARP esas alınacaktır. Problem şu şekilde incelenecektir: Bitlis'in Tatvan ilçesine bağlı Pınarbaşı mahallesine bağlı sokaklarda, kar temizleme araçlarının yaptığı çalışmalar ele alınmıştır. Bu uygulamada amaç ise; Tatvan Belediyesinin sorumluluğunda olan bu mahallelerin kar temizleme işlemi yapılırken, araçların izlediği yolların rotalarının belirlenmesi ve en iyi rotaların bulunmasıdır. Bu rotalar, KARP kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Belirlenecek olan rotalar sayesinde araçların kullanım maliyeti ve toplam çalışma süresi en aza indirilecektir.

Bu çalışma 5 bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, problem ile ilgili giriş kısmı verilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde; ARP, KÇPP ve ÇPP ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalara yer verilerek çalışmanın amacı ve kapsamı kaynak özetlerinde belirtilmiştir. Rotalama problemleri hakkında genel tanımlar yapılmış ve çeşitleri hakkında bilgiler verilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde; Tatvan Belediyesinin yetki ve sorumluluğunda olan mahallenin (Pınarbaşı) yol temizleme çalışmaları için araştırma bulgularına yer verilmiş, matematiksel model oluşturulmuş olup C#'da kodlanmıştır, araçlara ait en iyi tur rotaları bulunmuş ve çıktılar elde edilmiştir. Çalışmanın dördüncü bölümünde rotalara ait bulgulara yer verilmiştir. Çalışmanın 5. ve son bölümünde ise konuya ilişkin sonuçlar özetlenmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

## KURAMSAL TEMELLER

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

Literatürde KÇPP ile ilgili çok fazla sayıda çalışma bulunmamaktadır. Problemin NP-zor bir problem olduğu da bilinmektedir (Chou ve Pearn 1999).

Muralidharan ve Pandi (1995) bir karma ağın gösterilen bölümler boyunca belli bir kapasiteyle oluşturduğu rotasyon problemini, kapasiteli genel rotalama problemi adı ile incelemiştir. Problem için sezgisel bir yöntem önermişler ve sonuçları analiz etmişlerdir.

Chou ve Pearn (1999) yaptıkları çalışmalarında karma ağlar üzerindeki ÇPP için sezgisel yöntemler içeren dört adet algoritma geliştirmişlerdir. Bu algoritmalar; karma-1 ve karma-2 algoritması, değiştirilmiş karma-1 ve değiştirilmiş karma-2 algoritmalarıdır. Geliştirilen bu 4 algoritma ile problemin çözümü amaçlanmıştır. Karma-1 ve karma-2 algoritmalarının sonuçlarını literatürdeki mevcut algoritma sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Problem FORTRAN adlı programlama dili ile kodlanmış ve bu sonuçlara göre, geliştirilen yöntemlerin var olan çözümleri büyük ölçüde geliştirdiği tespit edilmiştir.

Genetik algoritma, Çinli Postacı probleminde karma ağlarda postacı için çalışma süresi ve yük kapasitesi kısıtlamalarını araştırmak için kullanılmıştır. Shan ve Hua (2003) karma ağlar üzerine çalışmışlar ve bu ağlar üzerindeki ÇPP için genetik algoritma yaklaşımını geliştirmişler ve bu yaklaşım ile çalışmadaki rota iyileştirilmiş, sonuçların iyi olduğunu göstermişlerdir. Ma ve arkadaşları (2015) çalışmalarında genetik algoritmayı, ÇPP'yi yük kapasitesi ve çalışma süreleri kısıtlamaları altında çözmek için kullanmışlar ve başarılı olmuşlardır. Çalışmalarında önceliğe dayalı kodlamayı kullanmışlardır. Gen değeri, servisi kabul etme önceliğini sunar, yani gen ne kadar büyükse hizmet önceliği o kadar yüksek olur. Bu yöntemin etkinliğini test etmek için karma ağlar almışlar, aldıkları sonuçlarla yöntemin uygulanabilir ve etkili olduğunu ve ÇPP'yi çözmeye önemli avantajlara sahip olduğunu göstermişlerdir.

Kapasiteli ayrıt rotalama problemi (KARP) için çalışan Hertz ve arkadaşları (2001) çalışmalarında, caddelerin bakımı ve yol boyunca müşterilere hizmet götürülmesi gereken uygulamalarda yönlü KARP'yi bulmuşlar ve çözümü için uygun bir algoritma geliştirmişlerdir. Belenguer ve Benavent (2003) KARP'yi geliştirmek için çalışmışlar ve yeni bazı geçerli eşitsizlikler sunmuşlardır. Bu yeni eşitsizliklere dayanarak problem için kesme düzlemi algoritması tasarlamışlar ve uygulamışlardır. Tüm bu geçerli eşitsizlikler için çeşitli

tanımlama algoritmaları geliştirmişlerdir. Bu kesme düzlemi algoritması, literatürden alınan üç örnek setine uygulanmış ve sonuçta ortaya çıkan alt sınır, test edilen 87 örnekten 47 örnekte optimal sonuç vermiştir.

Beullens ve arkadaşları (2003) da KARP üzerinde çalışmışlar ve çalışmalarında yeni bir yerel arama algoritması sunmuşlardır. KARP ve yerel arama algoritması düğüm yönlendirme probleminden türetilmişler ve her ikisi de iki rota kullanan tek bir araca ait hareketleri baz almışlardır. Algoritmayı meta-sezgisel kılavuzlu yerel arama ile birleştirmişler ve çözüm kalitesini iyileştirmek ve hesaplama süresinden tasarruf etmek için komşu listeleme ve kenar işaretleme yöntemlerini kullanmışlardır.

Mazzeo ve Loiseau (2004) bir araca yükleyebilecekleri maximum ağırlık veya hacmin olduğu KARP ile ilgilenmişlerdir. Bunun için Colorni ve arkadaşlarının (1991) getirdiği meta-sezgisel tekniğine dayalı bir karınca kolonisi algoritması geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri algoritma büyük ölçüde iyi sonuçlar vermiştir.

Salhi ve Amponsah (2004) özellikle gelişmiş ülkelerde büyük bir sorun olan çöp toplama uygulaması için KARP'a sezgisel bir algoritma geliştirmişlerdir. Burada çöp toplamanın çevresel yönünü ve maliyetini hesaba katmışlardır. Bu iki etki ile ileriye dönük stratejiler geliştirmişlerdir. Çevrenin etkisi olan ve olmayan örnekler üzerinde test etmişlerdir. Baldacci ve arkadaşları (2004) ele aldıkları çalışmalarında iki ürünlü ağ akışı yaklaşımına dayalı KARP için yeni bir tamsayı programlama formülasyonu tanımlamışlardır. KARP'nin optimal çözümü için yeni bir dal-kesi algoritması açıklamışlardır. Sonuçların iyi yönde olduğunu göstermişlerdir.

Amado ve Mourao (2005) çalışmalarında Lizbon'da bulunan evlerin, evsel atık toplama probleminden faydalanarak KARP için karma ağlarda optimum çözümler bulan yeni bir yol aramasına dayanan sezgisel bir yöntem bulmuşlardır. Mester ve Braysy (2005) çalışmalarında, araç rotalama problemlerinden zaman pencereci araç rotalama problemi için yeni ve etkili bir metasezgisel algoritma önermişlerdir. Sunulan algoritma, özellikle büyük ölçekli problemler için tasarlanmıştır. Hesaplama deneyler, genişletilmiş bir 302 kıyaslama problemi seti üzerinde gerçekleştirilmiş ve sonuçlar, önerilen yöntemin oldukça rekabetçi olduğunu ve makul hesaplama süreleri içinde tüm test örneklerinin %86'sına en iyi bilinen çözümleri sağladığını göstermiştir. Algoritmanın gücü, literatürden 23 adet kapasiteli araç rotalama probleminde elde edilen sonuçlarla doğrulanmıştır.

KARP için yeni bir karma yaklaşım algoritması geliştiren Ai-Ling ve arkadaşları (2006) çalışmalarında, KARP'yi çözmek için ayrık parçacık sürüsü optimizasyonunu ve



tavlama benzetim algoritmasını birleştiren yeni bir hibrid optimizasyon yaklaşımı geliştirmişlerdir.

KARP üzerine çalışmalarını sürdüren Ramdane ve Cherif (2006) çalışmalarında zaman pencerelerini kullanarak KARP'yi genişletmişler ve zaman pencereli KARP adı verilen yeni bir teorik model geliştirmişlerdir. Bu yeni modeli yeni memetik algoritma ile çözmüşlerdir. KARP çözümü için farklı bir yöntem geliştiren; Vansteenwegen ve arkadaşları (2009) çalışmalarında; Tele Atlas adı verilen sokakların ve yol işaretlerinin fotoğraflarını çeken bir tür araç filosunun çalışma stilini kullanmışlardır. Bu araçların belirli bir bölgedeki tüm sokakları geçmesi gereken gün sayısının en aza indirilmesi, kapasiteli bir ayırıt rotalama problemine yol açmıştır. Bununla birlikte, bu sorunun özel bir özelliği güneş yönünde fotoğraf çekmekten mümkün olduğunca kaçınılması gerektiğidir. Bu ihtiyaç, probleme yumuşak zaman pencereleri kısıtının eklemesini gerekli kılmıştır. Bu çalışma için aracın her bir caddede ideal başlama zamanını hesaplayan bir tam doğrusal programlama çözücüsü kullanılmıştır.

Afsar (2010) çalışmasında bir zaman penceresini ihlal etmenin bazı ekstra maliyetler gerektirdiği esnek zaman pencereli KARP'ı incelemiştir. Çözüm için bir dal-kesi algoritması önermiştir. Sonuç olarak problemi servis zamanları, seyahat zamanları ve maliyetlerin simetrik olmadığı daha genel durumlar için genişletmiştir.

Christiansen ve arkadaşları (2007) KARP'yi farklı bir yöntemle ele almışlar ve problemi stokastik taleplerle incelemiştir. Bu stokastik talepleri, grafik dönüşümü olmadan uygulanan dal-kesi algoritması ile çözmüşlerdir. Talebin stokastik doğasını fiyatlandırma problemine dahil etmişler ve hesaplanan sonuçları rapor etmişlerdir. Amaya ve arkadaşları (2007) çalışmalarında yeniden doldurma noktaları ile KARP'ye yeni bir çözüm geliştirmişlerdir. Burada iki tip araç kullanmışlardır. İlk araç ağlara hizmet etmek için ve diğer aracı doldurmak için kullanılmıştır. İlk tip araç sınırlı bir kapasiteye sahiptir; ikinci tip aracın doldurulması ve hizmetine devam etmesi için çalışır. 2. Tip araç ise dolduktan sonra gerekli yerde boşaltım için kullanılmıştır. Bu araçlar herhangi bir yerde buluşabilirler. Bu çalışma için bir tamsayı doğrusal programlama modeli ve bunu çözmek için kesme düzlemi yöntemi geliştirmişlerdir.

Brandao ve Eglese (2008) çalışmalarında tabu tarama sezgisel çözüm yöntemi önermişler, bunun için beş farklı yol kullanmışlar ve çeşitli kıyaslama örnekleri ile çözümleri test etmişlerdir. Sayısal sonuçlar, önerilen algoritmanın makul bir hesaplama süresi içinde yüksek kaliteli sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Chen ve arkadaşları (2010) çalışmalarında, KARP'yi çözmek için çoklu operatör optimizasyonuna dayalı yinelemeli azaltılmış değişken komşuluk arama algoritmasını tanıtmışlardır. Yerel minimumlardan kaçış ihtimalini artırmak için bir çapraz değişim operatörü ile bir pertürbasyon stratejisi tasarlamışlar ve algoritmanın performansını 34 standart KARP kıyaslaması için test etmişler; ve elde ettikleri sonuçlar, önerilen algoritmanın iyi çalıştığını ve diğer sezgisel yöntemlerle rekabet edebileceğini göstermiştir.

Tlili ve arkadaşları (2014) çalışmalarında, her bir aracın kat ettiği mesafeyi en aza indirmek amacıyla uygun araç rotalarını çıkararak KARP için mesafe kısıtlamaları olan bir hibrit meta-sezgisel algoritma tanıtmışlardır. Önerilen problemi karma tamsayılı doğrusal programlama (KTDP) modeli olarak formüle etmişler ve değişken komşulu arama algoritmasını bir parçacık sürü optimizasyon algoritmasıyla birleştiren sürü tabanlı hibrit meta-sezgisel bir yöntem önermişlerdir. Standart numuneler üzerindeki sonuçlar, önerilen algoritmanın en gelişmiş yöntemlerle rekabet edebileceğini göstermiştir. Blais ve Langevin (2017) yola bağlı olarak sokakların süpürülmesi ve tuzlanması çalışmasını geniş ölçekli bir komşu arama sezgiseli kullanarak ele almışlardır. Caddelerin konumu, dönüş kısıtları, araç hızları ve araçlar ile caddelerin uyumu kısıtları altında çalışmalarını yapmışlardır.

Ribeiro ve Laporte (2011) çalışmalarında kapasiteli araç rotalamanın farklı bir çeşidi olan kümülatif kapasiteli araç rotalama problemini(KKARP) ele almışlardır. Burada klasik KARP'dan farklı olarak toplam rota maliyetinden ziyade, müşterilere varış sürelerinin toplamının asgariye düşürülmesi amaçlanmıştır. Doğal afetler sonrası insanlara daha hızlı ulaşım sağlama isteği bu problemin ele alınmasını sağlamıştır. Bu makalede KKARP için komşu arama sezgiseli kullanılmıştır. Kışın yollarda tuzlama ve temizleme çalışmaları için dinamik KARP'yi ele alan Tagmouti ve arkadaşları (2011) çalışmalarında, servis maliyetini servisin başlama zamanının doğrusal bir parçalı fonksiyonu olarak ele almışlardır. Burada aynı zamanda servis maliyetinin minimum olduğu, optimum bir zaman aralığı bulmuşlardır. Problemi çözerken en yakın komşu arama sezgiselinden yararlanmışlardır.

Eydi ve Javazi (2012) çalışmalarında, KARP'yi kullanmışlar ve bir araç turunun oluşturulmasının, mevcut kısmi tur olarak hizmet edilmeyen bir kenarın rastgele seçilmesine ve daha sonra bu kısmi turun her iki uç düğümünden genişletilmesine dayalı olduğu, yeni bir yapıcı ve iyileştirici bir yöntem önermişlerdir. Araç yükü kapasitesine yaklaştığında hemen depoya geri gelmelidir. Son olarak, düzenlenen turlar daha verimli ve daha ucuz turlarla birleştirilir. Bu yeni yaklaşımın kalitesi, üç standart kıyaslama örneği üzerinde test edilmiş ve sonuçlar, literatürde bilinen bazı mevcut bulunan yöntemler ve meta-sezgisel yöntemler ile karşılaştırılmıştır. Sayısal sonuçlar, yeni yöntemin iyi çalıştığını göstermiştir. Fadzli ve

arkadaşları (2014) atık toplamada KARP üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarındaki amaç; tüm araçların bir depodan yola çıkıp depoya geri dönmesi, aynı zamanda tüm kenarların taleplerini karşılayacak bir dizi rota oluşturulmasıdır. Böylece araçların rota maliyetleri en aza indirilmiş olacaktır. KARP'nin yeni bir versiyonu olan atık toplamada KARP için bir matematiksel model geliştirmişler ve geliştirdikleri modeli; teslimat maliyeti, gecikme cezası ve teslimat süresi gibi çeşitli faktörler göz önüne alınarak sunmuşlardır.

Stanojevic ve arkadaşları (2013) çalışmalarında, KARP'yi çözmek için geliştirilmiş Clarke-Wright tasarruf hesaplaması ve uygulamasını önermişlerdir. Bu tasarruf değerlerini hesaplamak maksadıyla bir formül geliştirmek için yolları ve çözümleri birleştirecek yeni bir metodoloji sunmuşlardır. Her yinelemede tasarrufları yeniden hesaplayan yeni bir algoritma geliştirmişler ve bunun için gelişmiş bir kombinasyon kullanmışlardır. Hesaplama sonuçları, genişletilmiş tasarruf algoritmasının bilinen tasarruf algoritmasına kıyasla daha iyi çözümler verdiğini göstermiştir.

Fung ve arkadaşları (2013) KARP üzerine çalışmalarını sürdürmüşler; açık uçlu KARP'yi tanımlamışlar ve incelemişlerdir. Bu problemde, araç kapasitesine ve seyahat mesafesine bağlı olmak şartı ile belirli bir grafiğin kenarlarından geçecek bir dizi minimum maliyetli açık rota bulmayı amaçlamışlardır. Bu problemi çözmek amacıyla bir memetik algoritma geliştirmişler ve bu geliştirdikleri algoritmanın deneyler sonucunda makul bir hesaplama süresi içinde yüksek kaliteli çözümler ürettiğini göstermişlerdir.

Wang ve arkadaşları (2015) çalışmalarında KARP'yi çözmek için ilk olarak, kenar seçim kurallarına ışık tutmak için sıra sayısı ve sıra numarası kavramlarını önermişlerdir. Ardından, algoritmanın temel omurgası olan sıra tabanlı komşuluk arama algoritmasını tanıtmışlardır. Yukarıda bahsedilen kavramlara dayalı olarak, kenar seçimi ve değerlendirilmesine ilişkin yöntemler, yerel aramayı daha etkili hale getirmek için tasarlamışlardır. Bu algoritma, bilinen yedi kıyaslama seti üzerinde test edilmiştir. Deneysel sonuçlar, karşılaştırılan iki son teknoloji algoritmadan daha iyi performansa sahip olduğunu göstermiştir.

Daha önce evsel atıkların toplanması üzerine pek çok çalışma yapılmıştır. Kentsel atıklar üzerine çalışan Tirkolae ve arkadaşları(2018), atıkların toplanması ve bertaraf edilmesi sorunu gibi birçok operasyonel konuyu içeren bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında toplam maliyeti en aza indirmek amacıyla, çok yönlü KARP için tamsayılı bir doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Önerilen modelde, depo ve bertaraf tesisleri farklı yerlerde konumlandırılmıştır. Önerilen modeli doğrulamak için GAMS yazılımının CPLEX çözücüsü tarafından birkaç küçük boyutlu örnek çözülmüştür. Daha sonra, Taguchi

parametre tasarımı yöntemini kullanan bir karma algoritma, iyi bilinen test problemlerini ve büyük boyutlu durumları çözmek için geliştirilmiş bir Max-Min Karınca Sistemi (MMKS) temel alınarak geliştirilmiştir.

KARP için hibrit yerel algoritmasını ele alan Hao ve Chen (2018) iki aşamalı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Birinci aşamada; araçların sayısını en aza indirmek için özel bir çaba göstermişlerdir ve ikinci aşamada ise toplam maliyeti en aza indirmek amacıyla çalışmışlardır. Problemin iki aşamasında da sezgisel yöntemlerden yerel arama algoritmasını kullanmışlardır. 63 kıyaslama örneğindeki deneysel sonuçlar, yerel arama algoritmasının hem hesaplama verimliliği hem de çözüm kalitesi açısından oldukça iyi performans gösterdiğini göstermiştir.

Tirkolaee ve arkadaşları (2018) talep parametresinin belirsizliğini incelemek için çoklu sürücünün ve personelin çalışma süresi dikkate alınarak periyodik kapasiteli ayırıt rotalama problemi (PKARP) için yeni bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Önerdikleri modelin amaç fonksiyonu, bir planlama dönemi boyunca araçların toplam kat edilen mesafesini ve toplam kullanım maliyetini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Sorunu çözmek için, sezgisel yöntemlerden tavlama benzetimi algoritması (TBA) geliştirmişlerdir.

Armas ve arkadaşları (2019) çalışmalarında zaman kapasiteli ayırıt rotalama problemini tartışmışlar ve bunun büyük boyutlu örneklerini çözmek için bir buluşsal ve bir meta-sezgisel algoritma tanıtmışlardır. Zaman kapasiteli ayırıt rotalama problemi, kenar bakım ve kenar geçiş maliyetlerinin yanı sıra araç kapasitelerinin tümünün zamana dayalı olduğu bir KARP çeşididir. Zaman kapasiteli ayırıt rotalama probleminin amacı, geçilmesi gerekli kenarlara hizmet vermek için kullanılan toplam süreyi en aza indirmektir. Gerçekleştirilen sayısal deneylere göre, önerilen buluşsal yöntem, dikkate alınan en büyük örnekler için bile yüksek kalitede gerçek zamanlı sonuçlar sağlayabilmektedir. Benzer şekilde, önerilen meta-sezgisel yöntem, hem kalite hem de hesaplama süreleri açısından mevcut diğer yaklaşımlardan daha iyi performans göstermiştir.

Khajepour ve arkadaşları (2020) çalışmalarında, tarımsal operasyonları KARP'ye uyarlamışlardır. Bir tarladaki hasat yollarını belirleyen en iyi çapraz geçiş sırasını bulmak için kullanmışlardır. Bunun için uyarlanabilir geniş komşuluk aramasına dayalı bir çözüm algoritmasını, incelenen problemin büyük örneklerini çözmek için kullanmışlardır. Önerilen algoritma, optimal hasat modelini verimli bir şekilde elde etmek için gerçek hayat çalışmasının yanı sıra iyi bilinen problem örneklerine uygulanmıştır. Hesaplama sonuçları, algoritmanın geleneksel hasat modelini aştığını göstermiştir.

Zhang ve arkadaşları (2021) çalışmalarında, büyük ölçekli kapasiteli ayrıt rotalama problemine odaklanmışlardır. Orijinal büyük problemi daha küçük alt problemlere ayırarak ve bunları ayrı ayrı çözerek büyük ölçekli optimizasyon problemlerini çözmede büyük başarı elde eden, böl ve yönet stratejisini kullanmışlardır. Çalışmalarında var olan ayrıştırma şeması yerine yeni ve spesifik bir ayrıştırma şeması önermişlerdir. Bunun için; 1) farklı görevler arasındaki mesafelere göre bir görev sıralaması matrisi tasarlamışlar ve görev sıralaması matrisine dayalı olarak görevler arasındaki iyi bağlantıları ve zayıf bağlantıları tanımlamışlardır. 2) İyi bağlantılar yerine zayıf bağlantıları keserek bir rotayı ayrıştırma olasılığı daha yüksek olan yeni bir Rota Kesme Ayrıştırma(RKA) operatörü geliştirmişlerdir. 3) RKA operatörünü iki son teknoloji algoritmaya dahil ederek iki yeni böl ve yönet algoritması geliştirmişlerdir. 4) Yeni geliştirilen algoritmaları; bir dizi büyük ölçekli kapasiteli ayrıt rotalama örneğinde ve diğer son teknoloji yaklaşımlarla karşılaştırarak önerilen RKA operatörünün etkinliğini doğrulamışlardır. RKA'nın, ayrıştırmanın etkinliğini artırabileceğini ve özellikle problem boyutu çok büyük ve zaman bütçesi çok dar olduğunda önemli ölçüde daha iyi sonuçlara yol açabileceğini göstermişlerdir.

Bu bölümde rotalama problemlerini alt başlıklar altında daha yakından inceleyeceğiz.

### **Rotalama Problemleri**

Rotalama problemleri düğüm ve ayrıt rotalama olmak üzere ikiye ayrılır. Düğüm rotalamada bir şebeke üzerindeki düğümler, ayrıt rotalamada ise şebekenin ayrıtları ele alınır. Ayrıt rotalama problemlerinde asıl amaç, bir şebeke üzerindeki var olan tüm ayrıtlardan en az bir kere geçip, başlangıç düğümüne tekrar dönen en kısa yolu veya yolları belirlemektir (Limon 2015). Düğüm rotalama problemlerinde ise amaç, bir müşteri düğümüne hizmet götürmek için rotaları optimize etmektir.

Rotasyon problemlerine, gerçek hayat uygulamalarında oldukça sık rastlanmaktadır. Bu problemler için belirli kısıtlar vardır. Araçların belli kapasitelere sahip olması, araçların çift yön ya da tek yön gitmesi, birden fazla deponun olması gibi pekçok kısıtlar barındırır (Kirlık 2009).

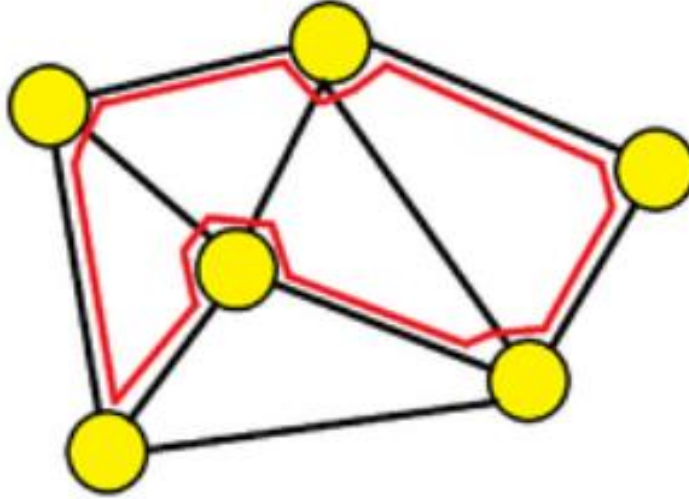
### **Düğüm rotalama problemleri**

Düğüm rotalama probleminde hizmet götürülecek yerler şehir veya caddelerin noktalarında yer alır. Amaç, araçların turlarını kısıtlara en uygun şekilde tamamlamalarıdır. Bu problemler, ilk kez 1857 yılında William Rowan Hamilton tarafından keşfedilen Icosian Game adında bir matematik oyunuyla başlamıştır. Bu oyun, düzgün on ikiyüzlünün herhangi bir noktasından başlayarak, bütün noktalara bir kez mutlaka uğrayacak ve hiçbir düğüm

tekrarı yapılmayacak şekilde bir çevrim bulunmasıdır. Bu oyundan yola çıkarak Hamiltonian tur problemi tanımlanmıştır.

### ***Hamiltonian turu***

Yönsüz veya yönlü bir grafta, tüm tepe noktalarının sadece bir kez geçildiği tur olarak tanımlanır. Yönlü ve yönsüz Hamilton turu problemleri, KARP'a ait NP-zor problemlerdendir.



**Şekil 1.** Altı düğümden oluşan bir şebeke etrafındaki hamilton turu

### **Ayrıt rotalama problemi**

Ayrıt rotalama problemi, belli kısıtlar altında bir şebekedeki yönlü ve yönsüz ayrıtlara hizmet edecek en düşük maliyetli rotanın belirlenmesi problemidir. Ayrıt rotalama problemi, 1735'de Leonard Euler tarafından tanımlanan Köningsberg köprüleri problemiyle başlar (Euler, 1741; Gribkovskaia ve arkadaşları 2007). Bu problemde Köningsberg (Kalininrad) şehrinde bulunan yedi adet köprünün hepsinden sadece bir kez geçerek, başlangıç noktasına geri dönecek bir yolun olup olmadığı araştırılmaktadır. Euler, Köningsberg sorununu bir serim şeklinde tanımlamıştır ve literatüre Euler Turu şeklinde girmiştir.

ARP, bir şebeke üzerindeki tüm kenarlardan en az bir kez geçen ve tur sonunda tekrar başlangıç noktasına geri dönen en kısa rotanın bulunmasıdır. KPP ve ÇPP olmak üzere ARP, ikiye ayrılır. ÇPP; şebekedeki tüm ayrıtlardan en az bir kere geçen en kısa tur uzunluğunun bulunması amacını taşır. KPP ise; şebeke üzerindeki belirli kenarlardan en az bir kere geçen en kısa tur uzunluğunun bulunması amacını taşır (Corberan ve arkadaşları 2002).

1736 yılında Euler bu problemi incelemiş ve böyle bir turun mümkün olmayacağını göstermiştir. Böyle bir turun olabilmesi için şebekenin(graf) bazı özelliklere sahip olması

gerektiğini göstermiştir. Kapalı bir şebekenin bütün ayrıtlarından bir kez geçilebilmesi için, o şebekede var olan tek dereceli düğüm sayısı iki olmalıdır. Tek dereceli düğüm sayısının iki olmasının sebebi ise, başlangıç ve bitiş düğümlerinin var olması gerektiğindedir. Eğer şebekede bu düğümler yer almaz ise tur, herhangi bir düğümden başlanarak yapılabilir.

Çözümün temel düşüncesi şudur: Eğer bir düğüm, başlangıç veya bitiş düğümü değilse tura çıkan kişinin o düğüme gelerek turunu tamamlayabilmesi için, o düğümden ayrılması gerekecektir. Bu yüzden bu düğümlerin, çift dereceli düğüm olması gerekmektedir. D düğümü gibi tek dereceli bir düğüme gelen bir kişi çıkış yolu bulamayacaktır. Bu sebeple bu tarz düğümler başlangıç ya da bitiş düğümü olmalıdır; çünkü tura 2. kez çıkan kişi çıkış yolu bulabilmelidir. Yani; tek dereceli düğümlerin sayısı ikiden fazla olursa, kişi turunu tamamlayamaz.

Tur sonunda, kişinin başlangıç düğüme geri dönebilmesi için bütün düğümler çift dereceli olmak zorundadır. Böyle başlangıç ve bitiş düğümü aynı olan ve her bir ayrıttan yalnızca bir kez geçen turlara Euler Turu denilmiştir. (Karskens 2013).

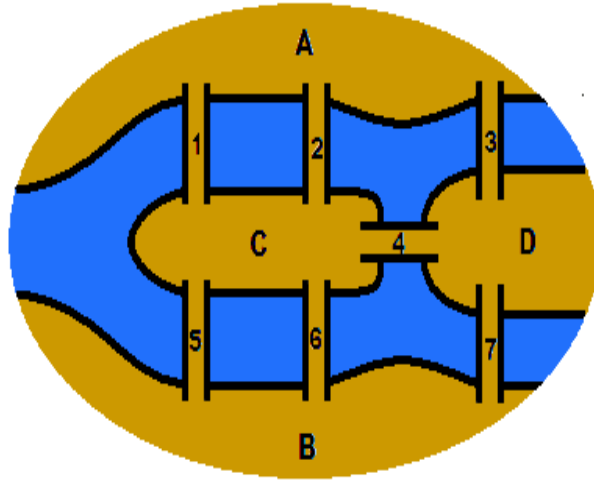
### ***Euler turu ve Königsberg köprü problemi***

Königsberg'in yedi köprüsü ÇPP'nin temelini oluşturan ve 18. yüzyılda Königsberg köprülerinden yola çıkılarak ortaya atılan bir problemdir.

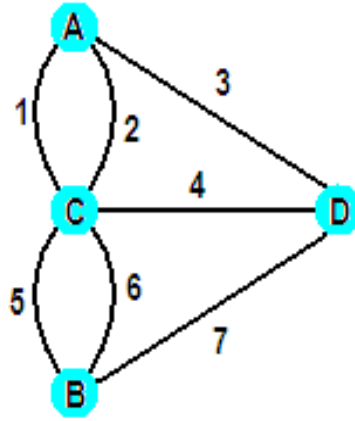
Königsberg kentinde Yeni Pregel ve Eski Pregel nehirleri birleşerek Pregolya adlı nehri oluşturmaktadırlar. Nehir üzerinde 7 adet köprü bulunmaktadır ve bu iki nehir tarafından 4 bölüme ayrılmış olan şehirler, bu 7 köprü tarafından birleşmektedir.

7 adet köprüden yalnızca bir kez geçmek koşulu ile bir tur düzenlenmesi problemi, 1736'da İsviçreli matematikçi Leonhard Euler tarafından çözüme kavuşmuştur.

Şekil 2'de köprüler sayılar ile karaya ait olan parçalar ise harflerle gösterilmiştir. Köprüler ve kara parçalarına ait Şekil 2 çözümü kolaylaştırmak adına, Şekil 3'e dönüştürülmüştür. Şekil 3'de kara parçalarına ait harfler düğümleri, köprülere ait sayılar ise şebekedeki noktaları birleştiren ayrıtları ifade eder. Böylece Şekil 3 herhangi bir düğümden başlamak üzere, yedi ayrıttan her birini ve sadece bir kez geçen bir probleme dönüşmüştür.



Şekil 2. Königsberg kentinde bulunan 7 adet köprü ve kara parçaları



Şekil 3. Königsberg kentinde bulunan 7 adet köprüye ve kara parçalarına ait kapalı şebeke

### Çinli Postacı Problemi

Çinli postacı problemi (ÇPP) ilk olarak, 1962 yılında Çinli bir matematikçi olan Mei-Ko Kwan tarafından incelenmiş ve bu adı almıştır (Ahuja ve arkadaşları 1995). Problem; bir postacının postaneden aldığı mektupları, mümkün olan en kısa yoldan şehrin tüm sokaklarına uğramak koşuluyla dağıtmak istemesiyle ortaya çıkmıştır. Mektupların dağıtımından sonra postacı, başlangıç düğümüne yani postaneye geri dönmek zorundadır.

Bir dizi yönlendirme problemi olan ÇPP; kış araçları, belediye atık toplama, malzeme tahsisi ve teslimat gibi akıllı ulaşım olarak birçok alanda kapsamlı uygulamalara sahiptir. Yarım yüzyıl boyunca ÇPP üzerine çalışmalar yapılmış ve kapasiteli ayırıt rotalama problemi, rüzgârlı postacı problemi, zaman pencereleri ile postacı problemi, hiyerarşik Çinli postacı problemi gibi birçok dal oluşturmuştur. Üstelik bu probleme; özel pek çok sezgisel yöntem, matematiksel model ve daha nice çözüm yöntemleri sunulmuştur.



Genel olarak,  $G = (V, E)$  yönsüz grafına bakıldığında,  $V$  düğümler kümesini ve  $E$  yönsüz kenarlar kümesini ifade eder. ÇinÇPP'nin amacı, aynı tepe noktasında başlayan ve biten yönsüz bir grafiğin tüm kenarlarını hareket ettiren ve toplam maliyetli minimum posta yolunu aramaktır. Ancak gerçek dünyadaki postacı sorununda ağ grafiği; yönsüz, yönlü ve hatta karışık olabilir ve postacı birden fazla kişi olabilir. Bu yüzden ÇPP esas olarak NP zordur, problemin ölçeği ile üstel olarak optimal çözümü bulmanın hesaplama maliyeti büyüyebilir.

### **Çinli postacı problemi çeşitleri**

Çinli postacı probleminin sekiz çeşidi vardır. Bunlar:

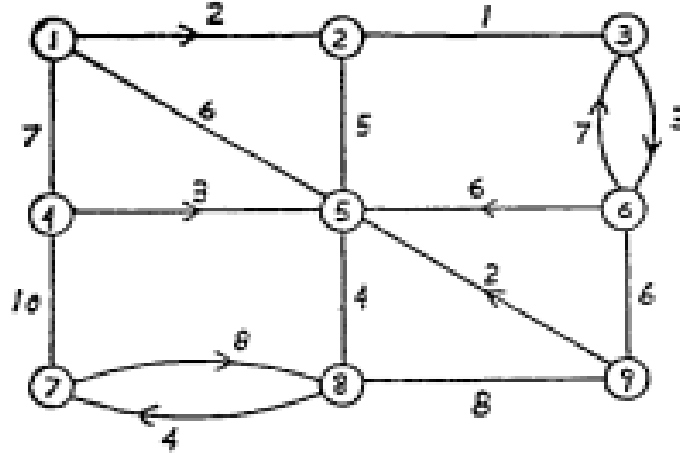
1. Karma Çinli postacı problemi (Mixed Chinese postman problem)
2. Yönlü Çinli postacı problemi (Directed Chinese postman problem)
3. Yönsüz Çinli postacı problemi (Undirected Chinese postman problem)
4. k-Çinli postacı problemi (k-Chinese postman problem)
5. Min-Max k-Çinli postacı problemi (Min-Max k-Chinese postman problem)
6. Hızlı Çinli postacı problemi (Windy Chinese postman problem)
7. Hiyerarşik Çinli postacı problemi (Hierarchical Chinese postman problem)
8. Kapasiteli Çinli postacı problemi (Capacitated Chinese postman problem)

### ***Karma Çinli postacı problemi (Mixed chinese postman problem)***

Bu problem çeşidinde, hem yönsüz hem de yönlü kenarlar bulunmaktadır. Burada amaç;  $G = (V, E, A)$ , üzerindeki tüm ayrıtlara en az bir kez uğramak ve başlangıç düğümüne dönmek koşuluyla en kısa yolun bulunmasıdır.

Karma Çinli Postacı problemi, uygulamada önemlidir ve kar temizleme, çöp toplama ve cadde süpürme gibi belediye yönetiminde karşılaşılan birçok sorunla yakından ilgilidir.

Kappauf ve Koehler Karma Çinli Postacı problemini tamsayı doğrusal bir program olarak formüle etmişlerdir. İlerleyen zamanlarda da bu problemi çözmek için pekçok çözüm yöntemleri geliştirilmiştir. Şekil 4'de yönlü bir şebekeye ait düğüm ve kenarlar gösterilmiştir.

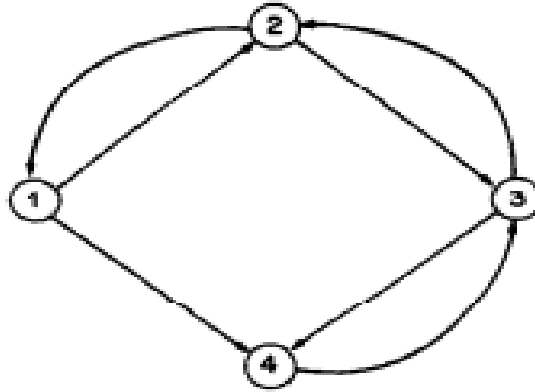


Şekil 4. 9 düğüm 10 kenardan oluşan karma bir şebeke

***Yönlü Çinli postacı problemi (Directed Chinese postman problem)***

Yönlü ÇPP; bir şebeke üzerinde bulunan kenarlardan herhangi bir yönde gidilemeyen yani tek bir yönde gidilebilen ve şebeke üzerindeki tüm kenarlardan en az bir kez geçen en kısa rotanın bulunmasını sağlayan problem türüdür.

Johnson ve Edmonds, bu problem için belirli çözüm teknikleri geliştirmişlerdir. Tamsayı doğrusal programlama veya akış yöntemi gibi çözüm teknikleridir. Şekil 5’de yönlü bir şebekeye ait düğüm ve kenarlar gösterilmiştir.



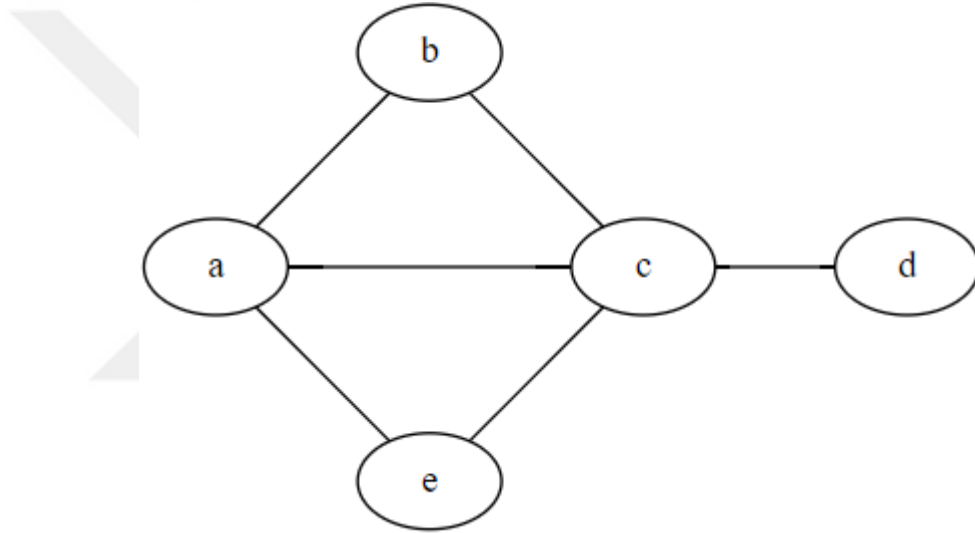
Şekil 5. 4 düğüm ve 7 kenardan oluşan yönlü bir şebeke

***Yönsüz Çinli postacı problemi (Undirected Chinese postman problem)***

Bu problem türünde, bir şebeke üzerinde bulunan tüm kenarlardan yön fark etmeksizin yani herhangi bir yönde gidilebilen bir tur oluşturmaktır. Bu turun amacı; tüm kenarlara hizmet götürülen ve hizmet bittikten sonra tekrar başlangıç noktasına dönen en kısa tur uzunluğunu bulmaktır.

Diğer bir deyişle; yönsüz Çinli postacı probleminde, yönsüz bir çizge üzerindeki her bir ayrıta en az bir kez uğrayarak, başlanılan düğüme geri dönmek koşuluyla en kısa yolun bulunması istenir.

Bu problem türü yönlü ÇPP gibi polinom zamanlı bir problem türüdür fakat yönlü ÇPP'den daha karmaşık bir yapıdadır. Problemin G grafi bir Euler graf ise, problemin Euler turu bulunarak çözülebilir. Rota, tekrarlanan kenarlar olmadan tamamlanabilir. Ancak G bir Euler graf değilse, o zaman tekrarlanan kenarların toplam uzunluğu en kısa mesafeli eşleştirme yönteminin probleme uygulanması ile en küçüklenmeye çalışılır. Tekrarlanan kenarların toplam uzunluğunun minimum olması problemi iyi şekilde sonuçlandırır. Problem, tamsayı doğrusal programlama ile de çözülebilmektedir (Florian, 1984). Şekil 6'da yönsüz bir şebekeye ait düğüm ve kenarlar gösterilmiştir.



Şekil 6. 5 düğüm ve 6 kenardan oluşan yönsüz bir şebeke

#### ***k-Çinli postacı problemi (k-Chinese postman problem)***

$k$ -Çinli postacı probleminde  $k$  tane(en az 2) postacının rotası belirlenmeye çalışılmaktadır. Klasik ÇPP gibi her bir postacı başlangıç noktasından çıkıp tekrar başlangıç noktasına geri dönmek zorundadır. Bu problemin amacı;  $k$  tane rotanın toplam uzunluğunu en küçüklemektir (Routing Problems, 2002). Uygulamada, her bir postacı için toplam süredeki farklılıklar hesaba katılmadığından, bu genellikle tatmin edici olmayan sonuçlara yol açar.

$k$ -Çinli postacı problemi, NP-zor bir problemdir. Polinom zamanlı çözülebilen örnekleri de vardır. Tek yönlü ağlarda  $k$ -ÇPP'nin polinom zamanlı çözülebilir olması için; ağlar tamamen yönsüz, tamamen yönlü, karışık veya rüzgârlı olabilir. Karma ve rüzgârlı durumlar için çözüm teknikleri önemsizdir (eğer çözümler mevcutsa).  $k$ -ÇPP'nin polinom

zamanlı çözülebilir olması için, ağlar tamamen yönsüz veya rüzgârlı olmalıdır. Bu gibi pekçok polinom zamanlı çözülebilen örnekler vardır.

### ***Min-max k-Çinli postacı problemi (Min-max k-Chinese postman problem)***

Min-max k-Çinli postacı problemi, k-Çinli postacı problemine benzemektedir. Burada da Min-Max k -Çinli Postacı Problemi için  $k > 1$  postacı var ve k turlarının en uzun olanını en küçükleme ve her bir ayrıta mümkün olan en kısa zamanda ulaşabilmek amaçlanmaktadır. Rotaların dengeli olması için, birbirine yakın eşit uzunluklu rotalar oluşturulmaya çalışılmaktadır (Ahr ve Reinelt, 2006).

Bu problem için sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir. Bunun yanısıra Degenhardt (2004) tarafından da minimum mutlak sapmalı k-ÇPP adında farklı bir yöntem geliştirilmiştir.

### ***Rüzgârlı Çinli postacı problemi (Windy Chinese postman problem)***

Rüzgârlı Çinli postacı probleminde, yönsüz bir şebeke üzerindeki kenarların uzunluğu, bu kenarlardan geçiş yönüne göre değişebilmektedir. Bu problemde, şebeke üzerindeki uzunluklar simetrik değildir. Bu problemde amaç, şebekedeki her bir kenardan en az bir kez geçen en kısa turu bulabilmektir (Eiselt ve arkadaşları 1995).

### ***Hiyerarşik Çinli postacı problemi (Hierarchical Chinese postman problem)***

Hiyerarşik ÇPP’de uygulama yapılan yolla öncelik sırasına göre sınıflandırılır. Burada amaç; bir şebeke üzerindeki kenarların öncelik durumları dikkate alınarak, yüksek önceliğe sahip kenarlardan başlanarak düşük önceliğe sahip kenarlara doğru ve her kenardan en az bir kez geçen en kısa rota uzunluğunu bulmaktır.

Hiyerarşik ÇPP NP-zor bir problemdir ancak bazı durumlarda polinom zamanlı çözülebilir. Bu problem türü için pekçok sezgisel çözüm yöntemleri geliştirilmiştir.

Hiyerarşik ÇPP’nin pekçok gerçek hayat uygulaması vardır. Kar küreme, çöp toplama, tuz serpmeye ve yol bakım çalışmaları gibi bazı uygulamalarda kullanılmaktadır.

### ***Kapasiteli Çinli postacı problemi (Capacitated Chinese postman problem)***

KARP’ın özel bir durumu olan KÇPP de kenarlar setinin, n bir alt kümesi ziyaret edilir. Şebeke üzerindeki bütün kenarların pozitif bir talebi vardır ( $d_{(ij)} > 1$ ). Yani şebeke üzerindeki her kenar en az bir kez ziyaret edilmelidir. Burada klasik ÇPP den farklı olarak; bir ağın yaylarında meydana gelen taleplerin, minimum toplam maliyetle sabit kapasiteli araçlar tarafından karşılanması gereken bir problem olmasıdır.

Kışın yollar donar ve yolların buzlarını çözmek için tuzlama araçları yolları tuzlar ve bu literatürde yol tuzlama çalışması olarak bilinir. Eglese (1994). Bu problemde, tuzlama aracının kapasitesi gözönüne alınır ve her sokak mutlaka tuzlanmalıdır. Her sokağın tuzlanması posta dağıtım problemiyle aynıdır. Ancak, araç boş olduğu zamanlarda tuzlama yapamaz ve boş bir şekilde yalnızca caddeleri dolaşabilir. Bu boş dolaşma ekstra maliyetler doğurur. Posta dağıtım probleminde olduğu gibi burada da amaç, boş dolaşımı en aza indirmek ve aracın en iyi rotasını belirlemektir (Eglese 1994).

KÇPP'nin pekçok gerçek hayat uygulaması vardır. Yol tuzlama, kar temizleme, çöp toplama gibi bir araç filosu gerektiren problemler bu uygulamalara örnektir.

Literatürde kapasiteli araç rotalama ile ilgili çok fazla çalışma yapılmıştır ancak, yollara araçların yüklerini boşaltabilecekleri boşaltım noktalarının olduğu bir çalışma henüz yapılmamıştır. Klasik KARP'de araçlar; kapasitelerini aşmadan hizmet verecekler, kasası dolan her araç depoya geri dönüp kasasını boşaltacak ve tekrar kaldığı yerden temizleme işlemine devam edecektir. Bu çalışma ile araçların, depoya tekrar tekrar dönme işlemi ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır. Araçların gezeceği yollar üzerinde belirli düğümlere boşaltım noktaları eklenmiştir. Belirli kapasitelere sahip araçlar, yolları gezerken kapasitelerini aşmadan kar toplama işlemini yapacaklar ve yine araçlar kasaları dolmadan kendilerine en yakın boşaltım noktasına kasalarını boşaltabileceklerdir. Bütün toplama işlemi bittikten sonra araçlar, başladıkları noktaya geri döneceklerdir. Önerimiz gerçek hayattaki kar küreme çalışmaları için uygundur. Gerçek hayatta da araçların belirli bir depoya dönmek yerine, yakındaki kar boşaltma noktasına gittiği bilinmektedir. Böylelikle, araçların her defasında depoya geri dönmelerinin ve bu geri dönmenin oluşturacağı maliyetin önüne geçilmeye çalışılmıştır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### Problem Tanımı

Belediyeler; kışın yağan karı temizlemek, caddelerde ve evlerin önünde biriken çöpleri toplamak, kışın buzlanan yolları tuzlamak gibi işleri yapmakla yetkilidirler. Bu işleri, mümkün olan en kısa sürede ve en düşük maliyetlerle yapmakla yükümlüdürler.

### Verilerin toplanması

Tatvan Belediyesi, kışın çok fazla yağan kar sebebiyle mahallelerde ciddi anlamda kar temizleme çalışması yapmaktadır. Pınarbaşı mahallesi ait sokaklar da, bu temizleme çalışmalarının yapıldığı mahallelerdendir. Bu çalışmada, bu mahalleye ait yol temizleme çalışması ele alınmıştır. Bu mahallenin yollarına ait şebeke, Tatvan Belediyesine ait Tatvan şehir planı yardımıyla çıkarılmıştır. Çizilen sokak şebekesinde; kavşak noktaları düğümleri, düğümler arasındaki kenarlar ise sokakları ifade etmektedir. Şebeke toplam 27 düğüm ve 37 kenardan oluşmaktadır. Kenarlar arasındaki mesafeler Google haritalar yardımıyla çıkarılmış yaklaşık değerler olup, metre cinsinden ifade edilmiştir. Sokakların temizlenmesi işlemi için toplamda 3 adet araç kullanılmıştır. Araçların kar taşıma kapasiteleri 1 ton olarak belirlenmiştir. Araçların son atması gereken adım sayısı 50 olarak belirtilmiştir. Araçlar temizlemeye 1 numaralı düğümden başlayacaklar ve temizleme sonrası bu düğüme geri döneceklerdir. Burada araçlar, klasik ÇPP'de olduğu gibi her temizleme sonrası depoya geri dönmeyeceklerdir. Bazı düğümler depo olarak da görev yapacak ve kapasitesi dolan araç, kendine en yakın depoya kasasını boşaltacaktır. Kasasını boşaltan araç seyahatine kaldığı yerden devam edecektir. Şebeke üzerinde toplamda 9 adet depo bulunmaktadır.

Tatvan Belediyesinden elde edilen verilere göre Pınarbaşı mahallesi ait birbiri ile bağlantısı bulunan sokakların matrisi, çizelge 3.1'de verilmiştir. Çizelgede düğümler arasında bağlantı var ise değer 1, bağlantı yok ise değer 0 olarak okunmaktadır. Çizelge 3.2'de girilen veriler, ayrıtların yaklaşık mesafeleri olup, bu veriler Google haritalar üzerinden yaklaşık değerler olarak alınmıştır. Çizelge 3.3'de girilen veriler; Çizelge 3.2'de girilen veriler ile eş değer olarak girilmiştir ve her aracın kat ettiği mesafe kadar bir maliyete katlanması gerektiğini göstermektedir.

**Tablo 1.** Pınarbaşı Mahallesi Sınırları İçinde Temizleme Çalışmaları Yapılan Tüm Sokaklar ve Bu Sokakların Birbirleri ile Olan Bağlantıları

	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
1	1	1	1	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	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
7	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	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	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	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	1	0	1	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
22	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
23	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	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	1	1	0	1	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

Tablo 1’de Pınarbaşı Mahallesi sınırları içinde temizleme çalışmaları yapılan tüm sokaklar ve bu sokaklara ait bağlantı matrisi verilmiştir.

**Tablo 2.** Pınarbaşı Mahallesi Sınırları İçinde Temizleme Çalışmaları Yapılan Tüm Sokaklar ve Bu Sokaklara Ait Uzunluklar Matrisi

	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
1	0	500	100	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	500	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	100	0	0	200	200	400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	200	0	0	0	250	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	200	0	0	0	0	0	0	0	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	0	0	0	0	0	0
6	0	0	400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	300	0	0	0	0
7	0	100	0	250	0	0	0	0	250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	80	0	0	0	0	250	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	200	250	0	0	0	0	0	0	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	80	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	200	0	0	0	0	80	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0	0	0	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	0	100	0	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	0	0	0	100	0	80	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	80	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	250
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0	50	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	50	0	0	0	0	0	0	250	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	50	0	80	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	80	0	80	0	0	0	150	0	0
21	0	0	0	0	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0	80	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0	0	100	0	0	0
23	0	0	0	0	0	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	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	100	100	0	100	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	0	0	100	0	100	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	250	0	0	0	0	0	0	100	0	100
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0

Tablo 2 de ise Pınarbaşı Mahallesi sınırları içinde temizleme çalışmaları yapılan tüm sokaklar ve bu sokaklara ait uzunluklar matrisi verilmiştir.



**Tablo 3.** Pınarbaşı Mahallesi Sınırları İçinde Temizleme Çalışmaları Yapılan Tüm Sokaklar ve Bu Sokaklara Ait Maliyet Matrisi

	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
1	0	500	100	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	500	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	100	0	0	200	200	400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	200	0	0	0	250	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	200	0	0	0	0	0	0	0	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	0	0	0	0	0	0
6	0	0	400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	300	0	0	0	0
7	0	100	0	250	0	0	0	0	250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	80	0	0	0	0	250	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	200	250	0	0	0	0	0	0	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	80	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	200	0	0	0	0	80	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0	0	0	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	0	100	0	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	0	0	0	100	0	80	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	80	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	250
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0	50	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	50	0	0	0	0	0	0	0	250
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	50	0	80	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	80	0	80	0	0	0	150	0	0
21	0	0	0	0	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0	80	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0	0	100	0	0	0
23	0	0	0	0	0	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	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	100	100	0	100	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	0	0	100	0	100	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	250	0	0	0	0	0	0	100	0	100
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0

Tablo 3’de Pınarbaşı Mahallesi sınırları içinde temizleme çalışmaları yapılan tüm sokaklar ve bu sokaklara ait maliyet matrisi verilmiştir. Maliyetler sokak uzunluk değerleriyle orantılı olarak üretilmiştir.

## Uygulama

Tatvan Belediyesinin kar temizleme çalışması yaptığı araçların, gereksiz gezinmeler yaptığı belirlenmiştir. Bu çalışmada Tatvan Belediyesinin yetkisinde olan Pınarbaşı mahallesine ait sokakların, kar temizleme çalışmasındaki en iyi rotalar belirlenmeye çalışılmıştır. Problemin çözümü için Kapasiteli Çinli Postacı Problemi için bir matematiksel model geliştirilmiş ve en uygun rotalar programa kodlanmış ve sonuçlar tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar rotaların uygunluğunu tespit etmiştir.

## Kapasiteli Çinli Postacı Problemi İçin Geliştirilen Matematiksel Model

- Düğümler arası bağlantılar yönsüz kabul edilmiştir.
- Araç kapasiteleri  $W = 1$  ton olarak eşit alınmıştır.
- Araç kapasite kısıtı alt tur oluşmasına engel olduğu için alt tur engelleme kısıtına ihtiyaç duyulmamıştır.
- Mesafeler metre cinsinden yaklaşık değerler olarak alınmıştır.

$G = (V, E)$  yönsüz grafına ait  $E$  kenarlar seti ve  $V$  düğümler setini ifade ettiğini düşünelim.  $i, j$  düğümler arasındaki bağlantıları ifade ederken;  $c_{ij}$  ve  $d_{ij}$  bu ayrıtlar ile ilişkili olan parametre değerlerini tanımlamaktadır. Aşağıda problem tanımında kullanılan küme, parametre ve değişken tanımlarını sunuyoruz.

**Tablo 4.** Küme ve İndeks Tanımları

Kümeler/İndisler	Tanımlar
$V/i, j$	Düğümler kümesi ve indeksleri
$E/(i, j)$	Kenarlar kümesi ve indeksi
$K/k$	Araçlar(Birbiriyle aynı) kümesi ve indeksi
$L/l$	Adımlar kümesi ve indeksi

**Tablo 5.** Parametreler ve Tanımlar

Parametreler	Tanımlar
$c_{ij}$	$(i, j)$ 'nin geçiş maliyeti, öyle ki $(i, j) \in E$
$d_{ij}$	$(i, j)$ düğümünde biriken kar miktarı, öyle ki $(i, j) \in E$
$a_j$	boşaltım noktası
$W_k$	$k$ aracının kapasitesi

**Tablo 6.** Değişkenler ve Tanımlar

Değişkenler	Tanımlar
$x_{ijkl}$	$k$ kamyonu $i, j$ arasını $l$ . Adımda kat ederse 1, aksi durumda 0 olur. Burada $e(i, j) \in E$ dir.
$y_{ijkl}$	$k$ kamyonu $i, j$ arasını $l$ . adımdan önce kat ettiyse 1, aksi durumda 0 olur. Burada $e(i, j) \in E$ dir.
$z_{kl}$	$k$ . kamyonun kasasında $l$ . adım sonrası biriken kar miktarı
$\alpha_{ijkl}$	$k$ kamyonu $l$ . adımda $(i, j)$ arasını kat etmişse kasasında biriktiği kar miktarı
$\beta_{ijkl}$	$k$ . kamyon $l$ . adımda $i, j$ arasını kat etmişse 1, aksi durumda 0 olur.

Matematiksel model şu şekildedir:

### Amaç Fonksiyonu

$$\text{Minimize} = \sum_{(i,j) \in E} \sum_{kl} x_{ijkl} \times c_{ij} \quad (3.1)$$

Amaç fonksiyonunda amaç; toplam seyahat maliyetini ve araçların kullanım maliyetini en aza indirmektir.

### Kısıtlar:

$$\sum_k \sum_l x_{ijkl} + x_{jikl} \geq 1 \quad (i, j) \in E \quad (3.2)$$

$$\sum_{(1,j) \in E} x_{1jkl} \geq 1 \quad k \in K \quad (3.3)$$

$$\sum_{(j,1) \in E} x_{j1kl-1} \geq 1 \quad k \in K \quad (3.4)$$

$$\sum_{j:(j,i) \in E} x_{jikl} = \sum_{j:(j,i) \in E} x_{ijkl} \quad k \in K, l \in L, i \in V / \{1\} \quad (3.5)$$

$$\sum_{(i,j) \in E} x_{ijkl} = 1 \quad k \in K, l \in L \quad (3.6)$$

$$z_{kl} = \sum_{j \in V} \alpha_{ijk(l-1)} \times (1 - a_j) + \sum_{(i,j) \in V} x_{ijkl} \times d_{ij} - \sum_{d_{ij}} d_{ij} \times \beta_{ijkl} \quad k \in K, l \in L \quad (3.7)$$

$$\beta_{ijkl} \leq x_{ijkl} \quad (i, j) \in E, k \in K, l \in L \quad (3.8)$$

$$\beta_{ijkl} \leq x_{ijkl} \quad (i, j) \in E, k \in K, l \in L \quad (3.9)$$

$$\beta_{ijkl} \geq x_{ijkl} + y_{ijl} - 1 \quad (i, j) \in E, k \in K, l \in L \quad (3.10)$$

$$\sum_k^{L-1} \sum_{l=1} x_{ijkl} \leq W \times y_{ijl} \quad (i, j) \in E, l \in L \quad (3.11)$$

$$y_{ijl} \leq \sum_k^{L-1} \sum_{l=1} x_{ijkl} \quad (i, j) \in E, k \in K, l \in L \quad (3.12)$$

$$\alpha_{jkl} = x_{ijkl} \quad j \in V, k \in K, l \in L \quad (3.13)$$

$$x_{ijkl}, y_{ijl}, \alpha_{jkl} \in \{0,1\} \quad (i, j) \in E, k \in K, l \in L \quad (3.14)$$

$$z_{kl} \geq 0 \quad k \in K, l \in L \quad (3.15)$$

(3.1) numaralı amaç fonksiyonu, toplam seyahat maliyetini ve araçların kullanım maliyetini en aza indirmektedir.

(3.2) numaralı kısıt araçların her bağlantıya en bir kez uğraması gerektiğini ifade etmektedir.

(3.3) ve (3.4) numaralı kısıtlar, araçların seyahatlerine depodan başlamalarını ve seyahatleri sonunda tekrar depoya geri dönmeleri gerektiğini ifade eder.

(3.5) numaralı kısıt, araçların  $(i, j) \in E$  arasındaki akışı göstermektedir. Yani, araç  $(l - 1)$ . adımda  $j$  düğüme gitmişse,  $l$ . adımda da  $j$  düğümünden çıkmalıdır.

(3.6) numaralı kısıtta, bir aracın bir  $l$  adımında yalnızca bir bağlantı kat edebildiğini göstermektedir.

(3.7) numaralı kısıtta aracın bir önceki adımda  $j$ 'ye uğrayıp uğramadığını ve gittiği düğümün depo olup olmadığını gösterir. Eğer depo ise ve önceki adımda kasasını boşaltmışsa o depoyu boş geçer. Üstüne depodan hangi yolu kat ettiyse kat ettiği yol kadar kasasına kar ekler ve yoluna devam eder. Daha sonra araç, daha önce katettiği yol var ise o yolu temizlemeden geçer. Dolayısıyla (3.7) numaralı kısıt araçların kasasındaki kar miktarının aracın geçtiği yolun daha önce temizlenip temizlenmediğine ve bir önceki durakta araç kasasının boşaltılıp boşaltılmadığına dikkat edilerek hesaplandığı kısıttır.

(3.8), (3.9) ve (3.10) numaralı kısıtlar  $\beta_{ijkl}$  değişkenini  $x_{ijkl}$  ve  $y_{ijl}$  değişkenlerinin çarpımına eşitleyen teknik kısıtlardır.

(3.11) ve (3.12) numaralı kısıtlar  $y_{ijl}$  değişkenini tanımlar ve değişkenin  $x_{ijkl}$  değişkeni ile ilişkisini kurar. Başka bir deyişle (3.14) ve (3.15) numaralı kısıtlar, eğer herhangi bir  $k \in K$  ve  $l' < l$  için  $x_{ijkl}$  değişkeni 1 değerini almışsa (yani  $(i, j) \in E$  bağlantısı  $l$  adımından önce ziyaret edilmişse)  $y_{ijl}$  değişkeninin değerini 1 yapan, almamışsa 0 yapan kısıtlardır.

(3.13) kısıt  $\alpha_{jkl}$  değişkenini tanımlamaktadır.

(3.14) ve (3.15) değişkenlerin işaretlerini tanımlamaktadır.

## **Kapasiteli Çinli Postacı Problemine Ait Modelin C#'da Kodlanması**

Kapasiteli Çinli Postacı Problemine ait oluşturulan model C#'da kodlanmış, önce 60 düğüm ve 88 kenardan oluşan şebeke kodlanmış ancak model boyutunun büyük olmasından dolayı ticari çözücü tarafından, çözüme istenilen sürede ulaşılamamıştır. Daha sonra 27 düğüm ve 37 kenardan oluşan şebeke oluşturulmuş ve model, programda önce 3 saat süreyle çalıştırılmıştır. Bu süre sonunda en uygun rotalara ulaşılmıştır. Daha sonra sonuçların daha kısa sürede optimale ulaştığı görülmüştür ve programın çalışma süresi 1 saat olarak ayarlanmıştır. Program 1 saat süren çalışma sonucunda optimale yakın sonuçlar vermiştir. Programa ait kodlar 4 bölüm halinde ekran görüntüleri ile birlikte aşağıda gösterilmiştir.

### **Probleme ait verilerin C#'da kodlanması**

Probleme ait olan verilerin tamamı, VeriOku adı altında kodlanmıştır. Bu veriler; maliyet matrisi, sokakların uzunluk matrisi, boşaltım noktalarına ait matris, adım sayısı, araç sayısı, kenarlar kümesi, düğümler kümesi ve araç kapasitesidir. Bütün bu veriler tek tek kodlanmış ve çıktıları alınmıştır. Kodlamaya dair ekran görüntüleri EK-1'de gösterilmiştir. Kodlamanın tamamı çok fazla olduğundan yalnızca bir kısmı gösterilmiştir.

### **Probleme ait verilerin programa tanıtılması**

Probleme ait veriler Program adı altında programa tanıtılmıştır. Bu veriler matris ve tamsayı şeklinde oluşturulmuş ve bu şekilde kodlanarak tanıtılmıştır. Tanıtılan verilere ait ekran görüntüleri EK-2'de gösterilmiştir. Kodlamanın tamamı çok fazla olduğundan yalnızca bir kısmı gösterilmiştir.

### **Probleme ait matematiksel modelin C#'da kodlanması**

Probleme ait matematiksel modelin bütün kısıtları ve karar değişkenleri ile birlikte bölüm 3.3'te anlatılmıştır. Anlatılan bütün kısıtlar ve karar değişkenleri MatematikselModel adı altında kodlanmıştır. Kodlanan kısıtlara ve karar değişkenlerine ait ekran görüntüleri Ek-3'de gösterilmiştir. Kodlamanın tamamı çok fazla olduğundan yalnızca bir kısmı gösterilmiştir.

### **Probleme ait sonuç kısmının C#'da kodlanması**

Programın son kısmında kodlanan verilerin bir sonuç elde etmesi için, Yazdır adı altında verilerin yazdırılması için kodlar girilmiştir. Burada sonuç kısmı alınmış olup, araçların rotaları oluşturulmuştur. En iyi ya da en iyiye yakın rotalar sonuç kısmının yazdırılması sonrasında elde edilmiştir.

Probleme ait veriler, matematiksel model ve program verilerinin tanıtılması yukarıdaki bölümde anlatılmıştır. EK-4'de sonuçların alınabilmesi için sonuç yazdır kısmı gösterilmiştir.

## TARTIŞMA VE BULGULAR

### Kapasiteli Çinli Postacı Problemi Model Sonuçları

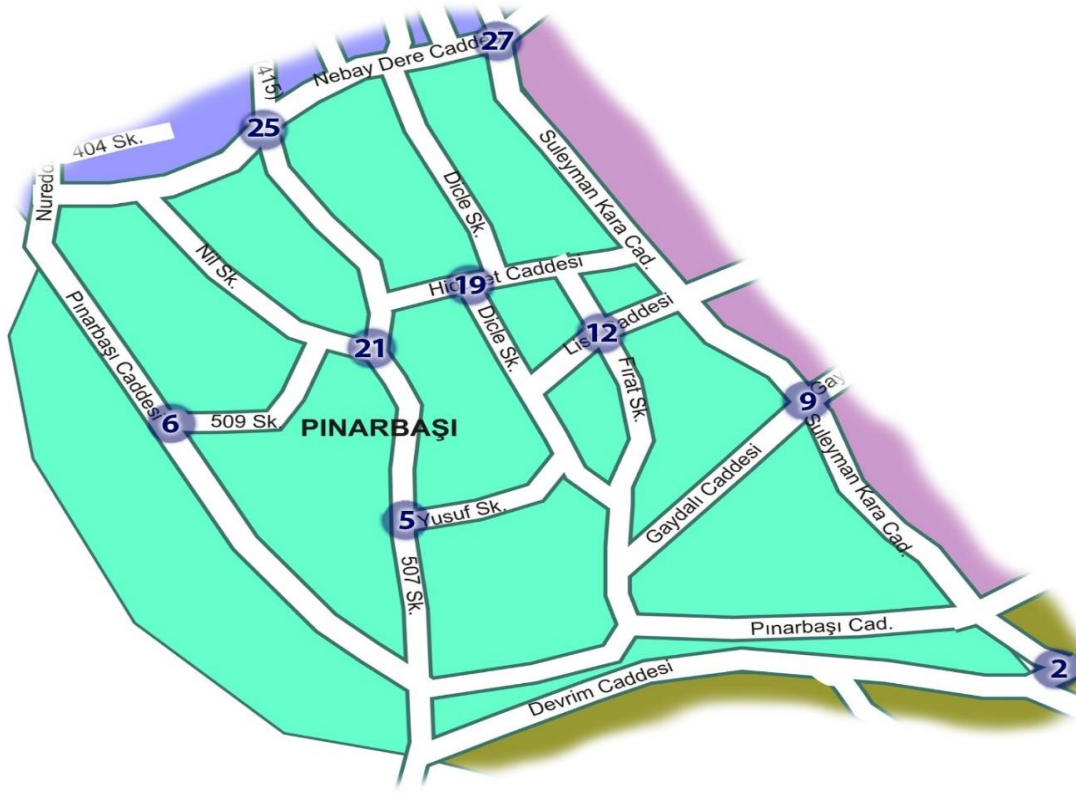
Visual Studio’da kodlanan program modeline ait sonuçlar Gurobi çözücüsü ile elde edilmiştir. Matematiksel model, veri okuma ve veri yazma kısımlarından oluşan program Tatvan Belediyesine bağlı Pınarbaşı Mahallesi için, Visual Studio programına girilen 1 saatlik süre sınırlaması altında çalıştırılmış ve elde edilen sonuçlar raporlanmıştır. Elde edilen sonuçlar optimale yakın sonuçlardır ve GAP değeri %0 olarak elde edilmiştir. Buda sonuçların oldukça iyi olduğunu göstermektedir. Sonuçlara göre optimale yakın rotalar bölüm 4.3’de gösterilecektir.

### Pınarbaşı Mahallesi Ait Temizleme Yapılan Yollar

Şekil 7’de görüldüğü gibi, Tatvan Belediyesinin yetki ve sorumluluğunda olan Pınarbaşı Mahallesi için kar temizleme çalışması yapılan sokaklara ait şehir planı Tatvan Belediyesinden temin edilmiştir. Birbiri ile bağlantısı bulunan sokaklar düğümleri ifade etmektedir. Toplamda 27 adet düğüm bulunmaktadır. Düğüm numaraları ve sokak bağlantıları kırmızı işaretli olarak belirtilmiştir. Düğümlerin bazıları boşaltım noktası olarak kullanılacaktır. Boşaltım noktası olarak kullanılacak olan düğümler Şekil 8’de mavi işaretli olarak gösterilmiştir.



Şekil 7. Pınarbaşı mahallesi için kar temizleme çalışması yapılan sokaklara ait şehir planı

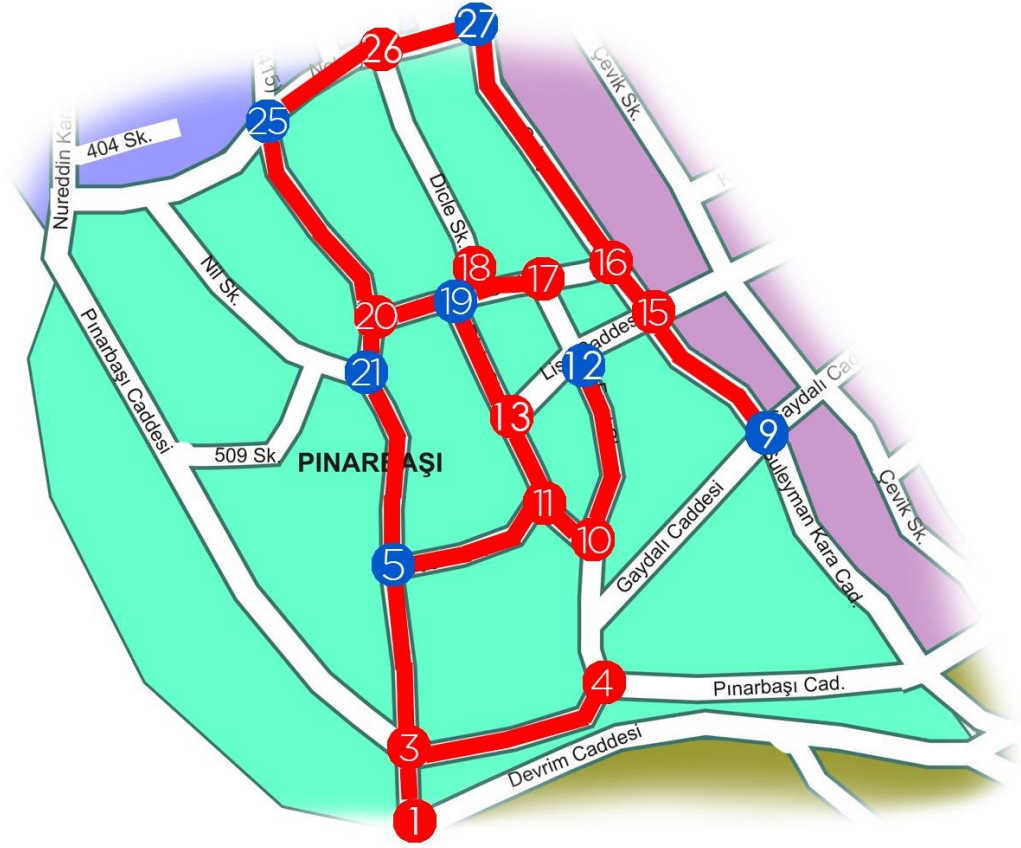


**Şekil 8.** Şebeke üzerine eklenen boşaltım noktaları

### **Visual Studio Programından Elde Edilen Sonuçlara Göre Araçlara Ait En İyi Rotalar**

Visual Studio programından elde edilen araçlara ait optimale yakın rotalar, aşağıdaki gibidir: Rotalar, şekillerde kırmızı şekilde çizilerek gösterilmiştir. Araçların temizleme sırasında kasalarını boşalttıkları boşaltım noktalarına ait düğümler mavi renk ile gösterilmiştir.

## Araca ait rota



Şekil 9. 1. Aracın kar temizleme işlemi yaptığı yollar ve uğradığı boşaltım noktaları

**Araç Rotası:** 1 - 3 - 5 - 21 - 25 - 26 - 27 - 16 - 15 - 9 - 15 - 16 - 27 - 26 - 25 - 21 - 20 - 19 - 13 - 11 - 13 - 19 - 18 - 26 - 18 - 17 - 16 - 11 - 16 - 11 - 16 - 11 - 16 - 11 - 16 - 11 - 16 - 11 - 16 - 11 - 16 - 11 - 10 - 12 - 10 - 11 - 5 - 3 - 4 - 3 - 1 - 1 - 1

**Temizleme Yapılan Yollar:** 1-3-4-5-9-10-11-12-13-15-16-17-18-19-20-21-25-26-27

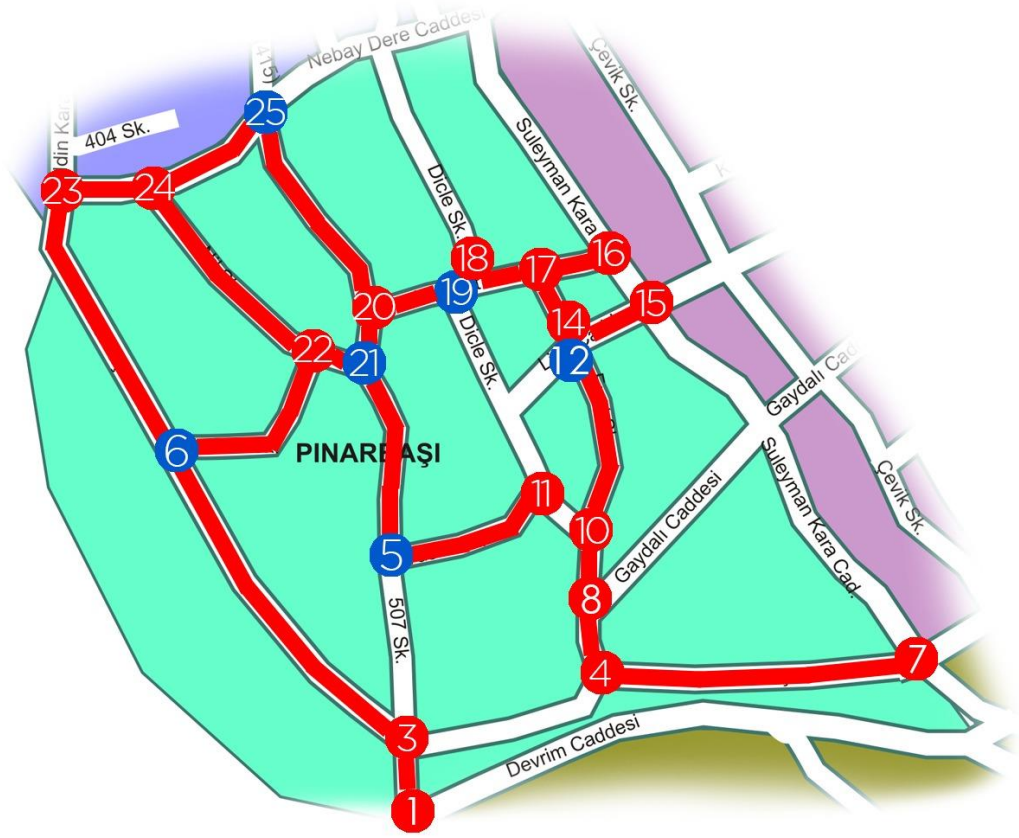
**Boşaltım Yaptığı Düzümler:** 5-12-19-21-25-27

Pınarbaşı mahallesinde, 1.araca ait tur rotaları, temizleme yaptığı yollara ait rotalar ve aracın kasasını boşaltmak üzere uğradığı boşaltım noktaları Şekil 9'da gösterilmiştir. Araç temizleme işlemine 1 numaralı düğümden yani depodan başlamıştır. Kendisine en uygun rotayı belirleyerek temizleme işlemi gerçekleştirmiştir. Temizleme işlemi sırasında kasasını boşaltmak üzere kendisine en yakın düğümlerdeki boşaltım noktalarına uğrayarak kasasını boşaltmış ve kaldığı yerden yoluna devam etmiştir. Temizleme işlemi tamamlandıktan sonra araç, 1 numaralı düğüme yani depoya geri dönerek turunu tamamlamıştır. 1. aracın temizleme temizleme işlemi için kullandığı rota kırmızı çizgiler ile belirtilmiştir. Mavi ile işaretli düğümler, 1.aracın rotası sırasında kasasını boşaltmak üzere uğradığı boşaltım noktalarını



göstermektedir. Araç kasa kapasitesi olan 1 tonu aşmadan kendisine en yakın boşaltım noktasına kasasını boşaltarak yolunu tamamlamıştır.

### Araca ait rota



Şekil 10. 2. Aracın kar temizleme işlemi yaptığı yollar ve uğradığı boşaltım noktaları

**Araç Rotası:** 1 - 3 - 6 - 23 - 6 - 22 - 21 - 5 - 11 - 16 - 17 - 14 - 8 - 10 - 8 - 4 - 7 - 4 - 8 - 14 - 15 - 14 - 8 - 14 - 12 - 14 - 17 - 18 - 19 - 20 - 21 - 25 - 24 - 23 - 24 - 22 - 24 - 25 - 21 - 25 - 21 - 25 - 21 - 25 - 21 - 25 - 21 - 22 - 6 - 3 - 1

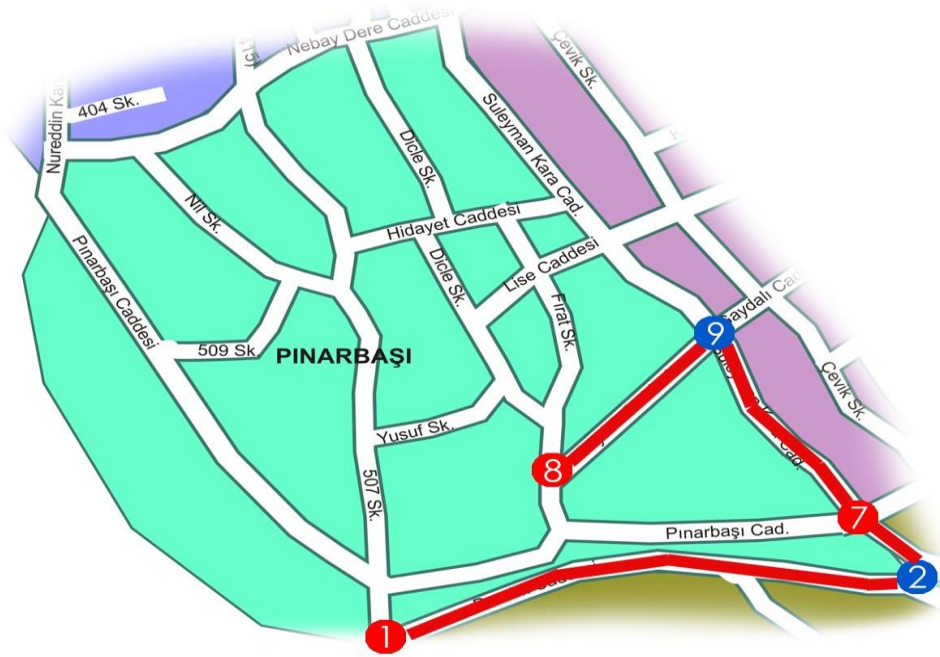
**Temizleme Yapılan Yollar:** 1-3-4-5-6-7-8-10-11-12-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26

**Boşaltım Yaptığı Düzümler:** 5-6-12-19-21-25

Pınarbaşı mahallesinde, 2.araca ait tur rotaları, temizleme yaptığı yollara ait rotalar ve aracın kasasını boşaltmak üzere uğradığı boşaltım noktaları Şekil 10'da gösterilmiştir. Araç temizleme işlemine 1 numaralı düğümden yani depodan başlamıştır. Kendisine en uygun rotayı belirleyerek temizleme işlemi gerçekleştirmiştir. Temizleme işlemi sırasında kasasını boşaltmak üzere kendisine en yakın düğümlerdeki boşaltım noktalarına uğrayarak, kasasını boşaltmış ve kaldığı yerden yoluna devam etmiştir. Temizleme işlemi tamamlandıktan sonra

araç, 1 numaralı düğüme yani depoya geri dönerek turunu tamamlamıştır. 2. aracın temizleme temizleme işlemi için kullandığı rota kırmızı çizgiler ile belirtilmiştir. Mavi ile işaretli düğümler, 2.aracın rotası sırasında kasasını boşaltmak üzere uğradığı boşaltım noktalarını göstermektedir. Araç kasa kapasitesi olan 1 tonu aşmadan kendisine en yakın boşaltım noktasına kasasını boşaltarak yolunu tamamlamıştır.

### Araca ait rota



Şekil 11. 3. Aracın kar temizleme işlemi yaptığı yollar ve uğradığı boşaltım noktaları

**Araç Rotası:** 1 - 2 - 7 - 9 - 8 - 9 - 7 - 2 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1

**Temizleme Yapılan Yollar:** 1-2-7-8-9

**Boşaltım Yaptığı Düğümler:** 2-9

Pınarbaşı mahallesinde, 3.araca ait tur rotaları, temizleme yaptığı yollara ait rotalar ve aracın kasasını boşaltmak üzere uğradığı boşaltım noktaları Şekil 11’de gösterilmiştir. Araç temizleme işlemine 1 numaralı düğümden yani depodan başlamıştır. Kendisine en uygun rotayı belirleyerek temizleme işlemi gerçekleştirmiştir. Temizleme işlemi sırasında kasasını boşaltmak üzere kendisine en yakın düğümlerdeki boşaltım noktalarına uğrayarak, kasasını boşaltmış ve kaldığı yerden yoluna devam etmiştir. Temizleme işlemi tamamlandıktan sonra araç, 3 numaralı düğüme yani depoya geri dönerek turunu tamamlamıştır. 3. aracın temizleme temizleme işlemi için kullandığı rota kırmızı çizgiler ile belirtilmiştir. Mavi ile işaretli düğümler, 3.aracın rotası sırasında kasasını boşaltmak üzere uğradığı boşaltım noktalarını göstermektedir. Araç kasa kapasitesi olan 1 tonu aşmadan kendisine en yakın boşaltım noktasına kasasını boşaltarak yolunu tamamlamıştır.

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, kışın yağın kar nedeniyle sokakların temizlenmesi konusunda zorluk çeken belediyeler için bir rotalama problemi incelenmiştir. Tatvan Belediyesinin sorumluluğunda olan Pınarbaşı mahallesine bağı sokaklara ait temizleme çalışması için bir şebeke oluşturulmuş ve bu şebekeye ait rotalar araştırılmıştır. Bu problemin çözümü için KARP'nin kullanılmasının pekçok önemli avantajları olmuştur. Bu problemin çözümü için KARP'nin kullanılmasının pekçok önemli avantajları olmuştur. Bu avantajlar, pekçok maliyet ve süreleri en aza indirmesi bakımından önemlidir.

Mahallelerdeki kar temizleme problemi için birden fazla aracın katettiğı yollar ve bu yollara ait rotalar, Visual Studio programı ile kodlanmış ve sonuçlar belirlenmiştir. Kapasiteli Çinli Postacı problemi kapsamında, sokakların rotalarını belirlemek için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen matematiksel model ile araçlara ait en iyi rotalar belirlenmeye çalışılmıştır.

Elde edilen araştırma bulgularına göre, Pınarbaşı mahallesine ait sokaklarda yapılan kar temizleme çalışmasında Tatvan Belediyesi bu iş için toplamda 3 adet araç kullanmaktadır. Kullanılan araçların, en iyi rotayı kullanarak temizleme çalışması yapması hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda, Tatvan Belediyesinden alınan Tatvan şehir planı ile Pınarbaşı mahallesine bağı sokakların birbiri ile bağlantısı çıkarılmıştır. Oluşturulan şebekeye ait mesafeler Google haritalar üzerinden yaklaşık değerler olarak alınmıştır. Şebekeye ait düğümlerin birbirleri ile bağlantısı matris şeklinde oluşturulmuştur. Alınan mesafe değerleri ile maliyet matrisi ve talep matrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan şebeke üzerindeki belirli noktalara, araçların kaslarını boşaltmaları için boşaltım noktaları eklenmiştir. Eklenen boşaltım noktaları ile bir boşaltım noktaları matrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan veriler, Visual Studio programına aktarılmış ve uygun bir çözüm bulması için bir çözücü kullanılmıştır.

Programdan elde edilen sonuçlara göre, Pınarbaşı mahallesine ait sokakların kar temizleme çalışması için uygun bir rota oluşturulmuştur. Elde edilen veriler, oluşturulan matematiksel modelin doğruluğunu ispatlamıştır. Program 1 saat süren çok kısa bir çalışma sonucunda optimale yakın sonuç vermiştir.

Kamuya ait kaynakların verimli bir şekilde kullanılması gerekir. Tatvan Belediyesine ait araçların, kar temizleme çalışması yaptıkları sırada kullandıkları rotalar belirlenmiştir.

Belirlenen rotaların, daha önce kullandıkları rotalardan daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Belirlenen rotaların kullanılması, hem zaman hem de mali açıdan kayıpların minimuma indirildiğini göstermiştir.

Çalışmada sonucunda öneriler şu şekilde olabilir:

Gelecekte yapılacak olan çalışmalar için;

- Bu çalışmada kullanılan Kapasiteli Çinli postacı problemi ile düğümlere eklenen boşaltım noktaları, klasik kapasiteli Çinli postacı problemi ile yapılacak araştırmalar için bir yol gösterici nitelikte olabilir.
- Düğümlere eklenen boşaltım noktalarına ek, yeni kısıtlar ya da yeni değerler eklenerek alınıp incelenebilir.
- Bu problemde zaman kısıtı olduğundan ötürü bir sezgisel geliştirilememiştir. İlerde yapılacak olan çalışmalar için sezgisel bir yöntem kullanılarak çözüme daha farklı bir yol geliştirilebilir.
- Problemin boyutu büyütülebilir. Daha fazla düğüm ve kenar eklenerek daha geniş kapsamlı rotalar oluşturulabilir. Böylelikle daha büyük bir alanda iyileştirmeler yapılabilir.
- Bu problem için geliştirilen matematiksel modeldeki kısıtlara ek yeni kısıtlar eklenerek daha geniş kapsamlı bir matematiksel model geliştirilebilir.
- Bu problemde araçlar turlarını tamamladıktan sonra depoya geri dönme zamanlarını tamamlamak adına boş gezmeler yapabiliyor. İleride yapılacak olan çalışmalarda bu boş gezmelerin önüne geçmek için matematiksel modele yeni kısıtlar eklenebilir.
- Bu çalışmada 3 araç için yapılan bu rota optimizasyonu, bir araç filosu için yeniden düzenlenerek yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- Ahuja, R., Magnanti, T., Orlin, J., Reddy, M. 1995. Applications of network optimization. *Handbooks in OR & MS*, 7 (1), 1-83.
- 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.
- Alkan, A. 2014. Gezgin satıcı problemi için veri madenciliği tabanlı bir model önerisi. *Doktora Tezi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli*.
- Amaya, A., Langevin, A. & Trépanier, 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.
- Baldacci, R., Hadjiconstantinou, E. and Mingozzi, A. (2004). An Exact Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing Problem Based on a Two-Commodity Network Flow Formulation. *Operations Research*, 52(5), 723-738.
- Belenguer, J., Benavent, E. 2003. A cutting plane algorithm for the capacitated arc routing problem. *Computers & Operations Research*, 30 (5), 705-728.
- Beullens, P., Muyldermans, L., Cattrysse, D., Oudheusden, D. 2003. A guided local search heuristic for the capacitated arc routing problem. *European Journal of Operational Research*, 147 (3), 629-643.
- Brandão, J., & Eglese, R. 2008. A deterministic tabu search algorithm for the capacitated arc routing problem. *Computers & Operations Research*, 35(4), 1112-1126.
- Chen, A., Yang, G. & Wu, Z. 2006. Hybrid discrete particle swarm optimization algorithm for capacitated vehicle routing problem. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A*, 7(4), 607-614.
- Chen, P., Huang, H. & Dong, X.-Y. 2010. Iterated variable neighborhood descent algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *Expert Systems with Applications*, 37(2), 1620-1627.
- 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.
- Cherif, W. 2006. Evolutionary algorithms for capacitated arc routing problems with time windows. *IFAC Proceedings Volumes*, 39(3), 321-326.
- Christiansen, C. H., & Lysgaard, J. 2007. A branch-and-price algorithm for the capacitated vehicle routing problem with stochastic demands. *Operations Research Letters*, 35(6), 773-781.
- 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.
- Edmonds, J., Johnson, 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.
- Eydi, A., Javazi, L. 2012. A novel heuristic method to solve the capacitated arc routing problem. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 3(5), 767-776
- Fadzli, M., Najwa, N., & Luis, M. 2015. Capacitated arc routing problem and its extensions in waste collection. *American Institute of Physics*, 1660(1).
- 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. Y. K., Liu, R., & Jiang, Z. 2013. A memetic algorithm for the open capacitated arc routing problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 50, 53–67.
- 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.
- Hertz, A., Mittaz, M. 2001. A variable neighborhood descent algorithm for the undirected capacitated arc routing problem. *Département de Mathématiques*, 35(4), 425-434.
- Hua, J., S., K. 2003. Genetic algorithm for Chinese postman problem. *Natural Sciences*, 8(1), 316-318.
- Karskens, J. 2013. Route Optimization with Capacity Constraints, Mail Delivery Problem, *Matematik Dünyası*.
- Khajepour, A., Sheikhmohammady, M., & Nikbakhsh, E. 2020. Field path planning using capacitated arc routing problem. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173, 105401.
- Kirlik, G. 2009. Yeni bir kapasiteli ayırıt rotalama problemi ve çözüm yaklaşımları. Yüksek Lisans Tezi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Limon, Y. 2015. On the balanced K-Chinese postman problems. MS Thesis, Industrial Engineering Department, Middle East Technical University.
- 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.
- Mattos Ribeiro, G., & Laporte, G. 2012. An adaptive large neighborhood search heuristic for the cumulative capacitated vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 39(3), 728–735.
- Mester, D., & Bräysy, O. 2005. Active guided evolution strategies for large-scale vehicle routing problems with time windows. *Computers & Operations Research*, 32(6), 1593–1614
- 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.
- Mazzeo, S., & Loiseau, I. 2004. An Ant Colony Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 18, 181–186.

- A. Coloni, M. Dorigo, V. Maniezzo 1991. "Distributed Optimization by Ant Colonies". First European Conference on Artificial Life, 134-142.
- Pandi, R., Muralidharan, B. 1995. A capacitated general routing problem on mixed networks. *Computers & Operations Research*, 22(5), 465-478.
- Pearn, W., Chou, J. 1999. Improved solutions for the Chinese postman problem on mixed networks. *Computers & Operations Research*, 26(1), 819-827.
- Quirion-Blais, O., Langevin, A., & Trépanier, M. 2017. A case study of combined winter road snow plowing and de-icer spreading. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 44(12), 1005–1013.
- Silvia, M., Irene, L. 2003. An Ant Colony Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 18, 181-186.
- Stanojević, M., Stanojević, B., & Vujošević, M. 2013. Enhanced savings calculation and its applications for solving capacitated vehicle routing problem. *Applied Mathematics and Computation*, 219(20), 10302–10312.
- Tagmouti, M., Gendreau, M., & Potvin, J.-Y. 2011. A dynamic capacitated arc routing problem with time-dependent service costs. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19(1), 20–28.
- 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*, 21(11), 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.
- Tlili, T., Faiz, S., & Krichen, S. 2014. A Hybrid Metaheuristic for the Distance-constrained Capacitated Vehicle Routing Problem. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 109, 779–783.
- Vansteenwegen, P., Souffriau, W., & Sörensen, K. 2009. The Mobile Mapping Van Problem: a metaheuristic for capacitated arc routing with soft time windows and depot selection. *IFAC Proceedings Volumes*, 42(4), 1114–1119.
- Z., Jin, H., Tian, M. 2015. Rank-based memetic algorithm for capacitated arc routing problems. *Applied Soft Computing*, 37, 572–584.
- De Armas, J., Keenan, P., Juan, A. A., & McGarraghy, S. 2019. Solving large-scale time capacitated arc routing problems: from real-time heuristics to metaheuristics. *Annals of Operations Research*. 273 , 135–162
- Zhang, Y., Mei, Y., Zhang, B., & Jiang, K. 2020. Divide-and-Conquer Large Scale Capacitated Arc Routing Problems with Route Cutting Off Decomposition. *Information Sciences*. 553, 208-224.

## ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
<b>Adı Soyadı:</b>	Nazlı KUTUR
<b>Doğum Yeri:</b>	
<b>Uyruğu:</b>	
<b>Adres:</b>	
<b>E-mail:</b>	
Eğitim	
<b>Lise:</b>	Tatvan Anadolu Lisesi
<b>Lisans:</b>	Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
<b>Yüksek lisans:</b>	Yeniüzyıl Üniversitesi İş Sağlığı Ve Güvenliği Tezsiz Yüksek Lisans(2017)