



Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı

**İNSANİ YARDIM LOJİSTİĞİ: ANKARA’NIN ÇANKAYA İLÇESİNDEKİ  
MAHALLELERE COVID-19 AŞISININ DAĞITILMASI**

Eylül SÜMER

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2023



İNSANİ YARDIM LOJİSTİĞİ: ANKARA'NIN ÇANKAYA İLÇESİNDEKİ MAHALLELERE  
COVID-19 AŞISININ DAĞITILMASI

Eylül SÜMER

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü  
İşletme Anabilim Dalı  
Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2023

## KABUL VE ONAY

Eylül Sümer tarafından hazırlanan "İnsani Yardım Lojistiği: Ankara'nın Çankaya İlçesindeki Mahallelere COVID-19 Aşısı Dağıtımı" başlıklı bu çalışma, 12.04.2023 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

---

Doç. Dr. Kazım Barış ATICI (Başkan)

---

Prof. Dr. Aydın ULUCAN (Danışman)

---

Doç. Dr. Mehmet SOYSAL (Üye)

---

Doç. Dr. Sedat BELBAĞ (Üye)

---

Doç. Dr. Mustafa ÇİMEN (Üye)

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım.

Prof. Dr. Uğur ÖMÜRGÖNÜLŞEN

Enstitü Müdürü

## YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinleri yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan **“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H.Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir. <sup>(1)</sup>
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ..... ay ertelenmiştir. <sup>(2)</sup>
- Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir. <sup>(3)</sup>

04/05/2023

[İmza]

Eylül SÜMER

*“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”*

- (1) Madde 6. 1. Lisansüstü tezle ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez **danışmanın** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu** iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.
- (2) Madde 6. 2. Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internetten paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez **danışmanın** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulunun** gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.
- (3) Madde 7. 1. Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, **tezin yapıldığı kurum** tarafından verilir \*. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, **ilgili kurum ve kuruluşun önerisi** ile **enstitü** veya **fakültenin** uygun görüşü üzerine **üniversite yönetim kurulu** tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.  
Madde 7.2. Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.

\* Tez **danışmanın** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu tarafından karar verilir.**

## ETİK BEYAN

Bu çalışmadaki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, yararlandığım kaynaklara bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında zgn olduğunu, **Prof. Dr. Aydın Ulucan** danışmanlığında tarafımdan üretildiğini ve Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Yönergesine göre yazıldığını beyan ederim.

[İmza]

Eylül SÜMER

Canım aileme

## ÖZET

Sümer, Eylül. *İnsani Yardım Lojistiği: Ankara'nın Çankaya İlçesindeki Mahallelere COVID-19 Aşısının Dağıtılması*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2023

2019 Kasım ayından bu yana bütün dünyayı etkisi altına alan ve gerek ekonomik gerek sosyal olarak uluslararası onarılması zaman alacak krizlere neden olan bir pandemi yaşanmaktadır. COVID-19 Virüsü yayılmaya başladığı andan bu yana bütün dünyanın gündemindedir ve pek çok insanın hayatını kaybettiği, daha fazlasının atlatmayı başardığı ama dünyadaki herkesin bir şekilde etkilendiği bu pandemiyi bitirebilmek için aşı çalışmaları ülkeler tarafından büyük bir titizlikle yürütülmektedir. Bir yılı bulan çalışmalar sonucunda Sinovac (Çin), Pfizer/Biontech (Almanya), AstraZeneca (İngiltere), Sputnik V (Rusya) ve Moderna (ABD) aşılarının yüksek oranlarda başarılı sonuç verdiği kanıtlanmıştır. Bu gelişme ile ülkeler aşı sırasına girmişler, normalleşme sürecini hızlandırmak için hem ekonomik hem de zaman tasarrufu açısından aşılamanın etkin bir şekilde planlanmasının önemini bilincindedirler.

Bu çalışmada Ankara'nın Çankaya ilçesindeki aşı olma sırası bekleyen insanlar için aşılamanın Sağlık Bakanlığı'ndan Çankaya'daki muhtarlıklara en kısa mesafede ulaştırılacak üç tam sayılı programlama modeli incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Modellerde Çankaya Belediyesi'ne bağlı 115 mahalle tespit edilmiştir ve Sağlık Bakanlığı başlangıç noktası olarak belirlenmiştir. Çalışmada 116 noktada Gezgin Satıcı Problemi (GSP), Araç Rotalama Problemi (ARP) ve Küme Ayırıştırma (KA) matematiksel problemleri çözülmüştür ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Araç Rotalama Problemi çözümlenirken Clark-Wright Algoritması uygulanmış ve rassallık ve iterasyon iyileştirilmelerinden yararlanılmıştır. Problem iki farklı kapasiteli araçla çözülerek iyileştirmelerin ve kapasitenin



özüme olan etkisi gözlemlenmiştir. Küme Ayırıştırma Problemi'nde Problem farklı sayıda kümeye ayırıştırılarak 5 senaryo halinde çözölmüştür. Çözümde MTZ Algoritması uygulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** İnsani Yardım Lojistiği, Gezgin Satıcı Problemi (GSP), Araç Rotalama Problemi (ARP), Küme Ayırıştırma (KA), COVID-19, Pandemi, Doğal Afet

## ABSTRACT

Sümer, Eylül, Humanitarian Logistics: Distribution of COVID-19 Vaccine to Neighborhoods in Ankara Çankaya, Master's Thesis, Ankara, 2023

Since November 2019, there has been a pandemic that has affected the whole world and has caused crises that will take time to repair both economically and socially internationally. Since the moment the Corona Virus started to spread, it has been on the agenda of the whole world, and vaccination studies are carried out by countries with great care in order to end this pandemic in which many people have lost their lives, more have managed to overcome but everyone in the world has been affected in some way. As a result of studies that lasted a year, Sinovac (China), Pfizer / Biontech (Germany), AstraZeneca (England), Sputnik V (Russia) and Moderna (USA) vaccines have proved to be successful at high rates.

With this development, countries are in the queue of vaccination and are aware of the importance of effective vaccination planning in terms of both economy and time savings in order to accelerate the normalization process.

In this study, three integer programming models that will deliver the vaccines from the Ministry of Health to the headman's offices in Çankaya in the shortest distance for people waiting for their turn to be vaccinated in the Çankaya district of Ankara were examined and compared. In the models, 115 neighborhoods of Çankaya Municipality were determined and the Ministry of Health was determined as the starting point. In the study, mathematical problems of Traveling Salesman Problem (GSP), Vehicle Routing Problem (ARP) and Cluster Decomposition (CA) were solved at 116 points and their results were compared. While solving the Vehicle Routing Problem, Clark-Wright Algorithm was applied and randomness and iteration improvements were used. The problem was solved with two different capacity vehicles and the effect of

improvements and capacity on the solution was observed. In the Cluster Decomposition Problem, the problem is divided into different number of clusters and solved in 5 scenarios. MTZ Algorithm has been applied in the solution.

**Keywords:** Humanitarian Logistics, Traveling Salesman Problem (TSP), Vehicle Routing Problem (VRP), Set Partition (SP), COVID-19, Pandemic, Natural Disaster

## İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY .....	iv
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI .....	ii
ETİK BEYAN .....	iii
ÖZET .....	v
ABSTRACT .....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
TABLolar LİSTESİ .....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xii
GİRİŞ .....	1
1. BÖLÜM: İNSANI YARDIM LOJİSTİĞİ .....	4
2. BÖLÜM: METODOLOJİ BÖLÜMÜ .....	13
2.1. GEZGİN SATICI PROBLEMİ İLE DAĞITIM .....	13
2.1.1. Literatürde Gezgin Satıcı Problemi.....	14
2.1.2. Gezgin Satıcı Problemi Matematiksel Modeli.....	16
2.2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ İLE DAĞITIM .....	20
2.2.1. Literatürde Araç Rotalama Problemi .....	22
2.2.2. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi Matematiksel Modeli	24
2.2.3. Clarke-Wright Algoritması.....	27
2.3. KÜME AYRIŞTIRMA VE ROTALAMA PROBLEMİ .....	31
2.3.1. Literatürde Küme Ayırıştırma Problemi .....	31
2.3.2. Küme Ayırıştırma Problemi Matematiksel Modeli .....	34
3. BÖLÜM: ANKARA’NIN ÇANKAYA İLÇESİNDEKİ MAHALLELERE COVID-19 AŞISI DAĞITIMI .....	39
3.1. GEZGİN SATICI PROBLEMİ İLE DAĞITIM .....	41
3.2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ İLE DAĞITIM .....	44
3.2.1. 100 Kg ve 150 Kg Kapasiteli Araçlar ve Duyarlılık Analizleri....	46
3.3. KÜME AYRIŞTIRMA VE GEZGİN SATICI PROBLEMİ İLE DAĞITIM .....	55

3.3.1. Çankaya Mahallelerini 6 Kümeye Ayrıştırma ve Gezgin Satıcı Problemi ile Dağıtım .....	56
3.3.2. Çankaya Muhtarlıklarını 8 Kümeye Ayrıştırma ve Gezgin Satıcı Problemi ile Dağıtım .....	61
3.3.3. Çankaya Muhtarlıklarını 10 Kümeye Ayrıştırma ve Gezgin Satıcı Problemi ile Dağıtım .....	64
3.3.4. Çankaya Muhtarlıklarını 12 Kümeye Ayrıştırma ve Gezgin Satıcı Problemi ile Dağıtım .....	68
3.3.5. Çankaya Muhtarlıklarını 15 Kümeye Ayrıştırma ve Gezgin Satıcı Problemi ile Dağıtım .....	72
<b>SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>77</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>80</b>
<b>EK 1. ORJİNALLİK FORMU .....</b>	<b>86</b>
<b>EK 2. ETİK KURUL MUAFİYET FORMU .....</b>	<b>90</b>

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1. İnsani yardım lojistiği literatür araştırması .....	10
Tablo 2. GSP literatür araştırması tablosu .....	13
Tablo 3. ARP literatür araştırması tablosu .....	21
Tablo 4 Küme Ayırıştırma literatür araştırması tablosu .....	31
Tablo 5. 6 Alt kümeli senaryoda alt kümelere ait muhtarlık sayısı .....	54
Tablo 6. 6 Alt kümeli senaryoda alt kümelere ait toplam mesafeler tablosu .....	57
Tablo 7. 8 Alt kümeli senaryoda alt kümelere ait muhtarlık sayısı .....	59
Tablo 8. 8 Alt kümeli senaryoda alt kümelere ait toplam mesafeler tablosu .....	59
Tablo 9. 10 Alt kümeli senaryoda alt kümelere ait muhtarlık sayısı .....	63
Tablo 10. 10 Alt kümeli senaryoda alt kümelere ait toplam mesafeler tablosu .....	63
Tablo 11. 12 Alt kümeli senaryoda alt kümelere ait muhtarlık sayısı .....	67
Tablo 12. 12 Alt kümeli senaryoda alt kümelere ait toplam mesafeler tablosu .....	68
Tablo 13. 15 Alt kümeli senaryoda alt kümelere ait muhtarlık sayısı .....	71
Tablo 14. 15 Alt kümeli senaryoda alt kümelere ait toplam mesafeler tablosu .....	72

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Clarke-Wright Algoritması tasarruf şeması .....	26
Şekil 2. 3. Bölüm yol haritası .....	37
Şekil 3. Çankaya muhtarlıkları için çözülen GSP'ye ait rota grafiği .....	41
Şekil 4. 100 kapasite ile çözülen 1.senaryo rota grafiği .....	43
Şekil 5. 150 kapasite ile çözülen 1.senaryo rota grafiği .....	44
Şekil 6. 100 kapasite ile çözülen 2.senaryo rota grafiği .....	45
Şekil 7. 150 kapasite ile çözülen 2.senaryo rota grafiği .....	46
Şekil 8. 100 kapasite ile çözülen 3.senaryo rota grafiği .....	47
Şekil 9. 150 kapasite ile çözülen 3.senaryo rota grafiği .....	48
Şekil 10. 100 kapasite ile çözülen 4.senaryo rota grafiği .....	49
Şekil 11. 150 kapasite ile çözülen 4.senaryo rota grafiği .....	50
Şekil 12. 100 kapasite ile çözülen 5.senaryo rota grafiği .....	51
Şekil 13. 150 kapasite ile çözülen 5. senaryo rota grafiği .....	52
Şekil 14. 6 Alt kümeye ait rota grafikleri .....	57
Şekil 15. 8 Alt kümeye ait rota grafikleri .....	61
Şekil 16. 10 Alt kümeye ait rota grafikleri .....	65
Şekil 17. 12 Alt kümeye ait rota grafikleri .....	69
Şekil 18. 15 Alt kümeye ait rota grafikleri .....	73

## GİRİŞ

Afetler can ve mal kaybına sebep olan ve durdurulamayan tehlikeli doğa olaylarıdır. Doğal sebeplerden oluşabildikleri gibi insan elinden kaynaklanabilirler ve kısa sürede gerçekleşirler. Dünyanın oluşumundan bu yana birçok afet yaşanmıştır. Yaşanan afetler insan yaşamıyla birlikte sosyal ve ekonomik faaliyetleri olumsuz bir şekilde etkileyerek maddi ve manevi pek çok kayba neden olmuşlardır.

2020 yılında pek çok doğal afet meydana gelmiştir. Birçok ülkede depremler olmuş, insanlar hayati ve maddi çeşitli zararlar vermiştir. Avustralya'da durdurulması çok uzun süre alan ve doğal yaşamı bitirme noktasına getiren, pek çok hayvanı nesli tükenme tehlikesiyle karşı karşıya bırakan yangınlar çıkmış, Amerika Birleşik Devletleri'nde pek çok insanın zarar gördüğü fırtınalar çıkmış kısacası dünyanın her yerinde maddi ve manevi birçok kaybın yaşandığı bir sene olmuştur. Bütün bunlar yaşanırken insanlık aynı zamanda Kasım 2019'dan bu yana Çin'in Wuhan kentinde başlayıp dünyanın her yerine yayılan COVID-19 pandemisiyle baş etmek durumunda kalmıştır.

COVID-19 Virüsü Wuhan'da tespit edildiği günden itibaren çok büyük bir hızla yayılmış ve kısa süre içinde bütün ülkeleri etkisi altına almıştır. Hükümetler önlem almakta geç kalmış, alınan bazı önlemler de virüsün yayılma hızı karşısında yetersiz kalmıştır. Sınırlandırmaların etkisiz kalmasının sebebi diğer virüslerden farklı olarak COVID-19 virüsünün kuluçka dönemindeyken bile temaslı insanlara bulaşıyor olması yani hasta belirti göstermeye başlamadan bile çevresine bulaştırıyor olması ve çoğu vakanın hiç belirti göstermemesidir. Belirti göstermeyen hastalar tespit edilemediği için yayılmanın önüne geçilmesi iyice zorlaşmıştır. Önlem almakta ve reaksiyon göstermekte geç kalan ülkelerin sağlık sistemleri hastanelerde dolup taşan COVID-19 hastaları ve yoğun bakımların artık hastalara yetememesi dolayısıyla zor durumda kalmıştır.



COVID-19 salgını pandemi boyutlarına ulaştığı andan beri ilaç şirketleri ve araştırmacılar seferber olmuşlardır. Dünya hükümetleri aşının en kısa sürede bulunabilmesi için araştırmalara büyük yatırım yapmış ve desteklerini sürdürmüşlerdir. Aşı çalışmalarının önündeki en büyük engellerden biri virüsün daha önce karşılaşılmamış bir virüs olmasıdır. Bilim insanları tanımadıkları bu virüsün gen dizilimini bilmemektedirler. Pandeminin dünya geneline büyük bir hızla yayılması, hükümetlerin sokağa çıkma yasakları getirmelerine neden olmuş. İşe gidemeyen insanlar içinse büyük ekonomik paketler açıklamışlardır. Fabrikaların çalışmayı durdurması veya geciktirmesi arzı, sokağa çıkma yasağı dolayısıyla insanların vakitlerini evlerinde geçirmeleri ise talebi etkilemiştir. Bütün bu gelişmeler ile dünya küresel bir sağlık krizinin yanında bir de ekonomik krizle boğuşmuştur. Bu durum bilim adamlarına bir an önce bir aşı bulma baskısı olarak yansımıştır. Yaklaşık bir yılın sonunda çalışmalar sonuç vermiş ve hastalığı önlemede ve azaltmada etkin aşilar faz 3 denemelerini başarılı bir şekilde tamamlamışlardır. Rusya'da Sputnik V, Çin'de Sinovac, Almanya'da Pfizer Biontech, Amerika Birleşik Devletleri'nde Moderna, İngiltere'de Astra Zeneca aşıları başarılı olmuş aşılardır.

Aşıların başarılı olduğu tespit edilmesi ile ülkeler aşı sırasına girmişlerdir. Aşılanmanın hızlıca tamamlamanın normal hayata geri dönüşün anahtarı olduğunun bilincinde olan hükümetler aşı planlamasının da ne kadar önemli ve kilit bir konu olduğunu bilmektedirler. Doğru planlama ile halkı aşılanmanın hem zaman açısından hem de ekonomik açıdan tasarruf sağlayacağı ortadadır.

Bu çalışmada Türkiye'nin başkenti Ankara'nın Çankaya ilçesindeki mahallelere aşı dağıtımında minimum mesafe hedeflenerek üç problem üzerinde yoğunlaşmıştır. Çankaya ilçesi sınırları içerisindeki 115 mahallenin muhtarlıkları ulaştırma noktaları olarak belirlenmiştir. Aşıların Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı'ndan yola çıkacağı varsayılmıştır. Çalışmaya

Çankaya ilçesinde olduğu belirlenen 8 köy dahil edilmemiştir. Toplamda 116 nokta arasında Gezgin Satıcı Problemi (GSP), Araç Rotalama Problemi (ARP) ve Küme Ayırıştırma (KA) Problemi çözülmüş ve bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Oluşan rotaların grafikleri çalışmada gösterilmiş ve incelenmiştir. Çalışmada aynı zamanda 2019 Çankaya mahallelerine ait nüfus bilgileri göz önünde bulundurulmuş, modeller bu veriler ışığında oluşturulmuştur. Modeller için mahallelerin ve Sağlık Bakanlığı'nın koordinat bilgileri Google Haritalar'dan çekilmiştir.

Çalışmada kullanılan üç optimizasyon problemi tedarik zinciri ve lojistik planlamalarında sık kullanılır. En az mesafe, zaman ve maliyetle dağıtım yapmayı amaçlayan bu problemlerden insani yardım lojistiği alanında da fazlasıyla yararlanılmaktadır. Çalışma karşılaştırdığı dağıtım yöntemleri ile en etkin ve hızlı yolu bulmayı amaçlamıştır. GSP bir araçla bütün mahallelere uğrayarak oluşturulan bir rotayı verir. Çalışmada GSP çözerken Tembel Kısıtlar'dan yararlanılmıştır. ARP bir depodan ayrılan kapasite kısıtlı bir veya birden fazla aracın, talep miktarları ve koordinatları verilen müşteri noktalarını ulaştırma maliyetlerini en aza indirgeyecek şekilde dolaşması problemidir. ARP çözerken Clark-Wright Algoritması kullanılmıştır. Zaman kısıtı, sabit araç maliyeti gibi ek kısıtlar probleme eklenebilir. KA bir kümedeki öğelerin daha küçük alt kümelere nasıl bölünebileceğini belirler. Sonrasında ise bütün alt kümelerde GSP çözümlenerek olabilecek toplam minimum mesafe ve alt kümeler içerisinde oluşturulan rotalar ortaya çıkar. KA'nın ikinci aşamasında GSP çözerken MTZ Algoritması uygulanmıştır. Çalışma bu üç problemi aşı dağıtımında karşılaştırması ve 116 noktalı bir örnekte uygulaması ile alanındaki diğer çalışmalardan ayrılmaktadır.

## 1. BÖLÜM: İNSANİ YARDIM LOJİSTİĞİ

Bu bölümde öncelikle afetler konusu üzerinde durulacak, salgın hastalıklar, COVID-19 ve aşılama çalışmaları açıklanacaktır. Sonrasında literatürde “İnsani yardım lojistiği” üzerine incelenen çalışmalar verilecektir.

Doğal afetler atmosferik, jeolojik, hidrolojik ve insan kaynaklı olabilen maddi hasara ve insan hayatının kaybına neden olabilen çok şiddetli doğa olaylarıdır. Mevsimsel gerçekleşebilen doğal afetler olabildiği gibi aniden gelişenler veya oluşması uzun zaman alan doğal afetler de vardır. Son on yılda, dünya çapında her yıl milyonları etkileyen ve milyarlarca dolara mal olan 300'den fazla doğal afet meydana gelmiştir. Afet döngüsü, bir felakete müdahale etmek, kurtarmak, önlemek ve afete hazırlanmak için koordineli bir plan oluşturmak için kullanılan bir çerçevedir (A. S. Prasad, 2017).

Teknolojinin gelişmesiyle bazı doğal afetleri önceden kestirebilmek, önlem alabilmek veya hazırlık yapabilmek artık mümkün olmasına rağmen bütün bunların yeterli gelmediği ya da hala önceden tahmin edilmesi mümkün olmayan doğal afetler de vardır. Örneğin; fay hatlarının hareketleri incelenerek gelecekte olası depremler öngörülebilmektedir. Buna en iyi örnek İstanbul'da yakında gerçekleşmesi beklenen büyük İstanbul Depremi'dir. Tam olarak ne zaman gerçekleşeceği bilinemesse de böyle bir depremin olacağı bilim dünyasınınca kesindir. Depremin önceden bilinmesi ile İstanbul halkı ve belediyesi depreme karşı dayanıklı binalar, toplanma alanları, gerekebilecek durumlar için depolanan erzak ve malzeme gibi pek çok önlem ve hazırlık yapabilmektedirler. Aynı şekilde su yataklarına kurulan yerleşimlerin mevsimsel olarak yağışlar arttığı ve sonrasında karlar erimeye başladığı zaman sel altında kalacağı bilinmektedir. Şehir planlaması yapılırken bu bilgi esas alınarak yaşam yerleri düzenlenir veya önlemler alınır. Buna başka bir örnek de heyelan potansiyeli olan yollar ve bölgelerin üstüne set kurulması ve önlemler

alınmasıdır. Yine aynı şekilde daha yavaş gerçekleşen afetlerden kuraklığın beraberinde kıtlığı da getireceği ortadadır. Bunu önlemek için ağaç dikilmesini teşvik ederek ve ormanlık alanları koruyarak tedbirler alınır.

Dünyada meydana gelen doğal afetlerden biri de salgın hastalıklardır. Diğer doğal afetler gibi salgın hastalıklar da ülkelerin ekonomik faaliyetlerini sekteye uğratmış, sağlık sistemlerini sınamışlardır. İnsanlara sosyal, ekonomik açıdan zararlar vermiş ve büyük yaşam kayıplarına yol açmışlardır. Salgın hastalıklar geniş bir coğrafi alanda meydana gelip nüfusun büyük bir kısmını etkisi altına aldığı zaman epidemi olarak adlandırılır. Epidemi kelimesinin tanımı kontrolden çıkmış salgın hastalıklar anlamına gelmektedir ve çok karıştırılan pandemiden farklıdır. Epidemi bir hastalığın aktif olarak yayılmasıyken, pandemi coğrafi yayılmayı belirtir. Tüm ülkeyi veya tüm dünyayı etkileyen bir hastalığı tanımlarken kullanılır. İnsanlarda bir viral salgının pandemi olarak tanımlanması için kabaca 3 kriter sağlanmalıdır:

1. Yeni bir virüs olmalı,
2. İnsandan insana kolay ve sürekli bir şekilde bulaşmalı,
3. Çok sayıda ülkeyi etkilemelidir. (Porta, 2008)

İnsanoğlu tarihi boyunca pek çok salgın hastalığa tanıklık etmiştir. Bunlardan en şiddetlileri ve en bilinenleri; Veba (1300), Çiçek (1500), İspanyol Gribi (1919), HIV/AIDS (1981) ve COVID-19 (2020) olmuştur. Kara ölüm adıyla da bilinen veba 1300 yılında farelerden insanlara bulaşmış ve dünya nüfusunun %51'ine bulaşarak 200 milyondan fazla insanın ölümüne sebep olmuştur. Bu özellikleriyle insanlık tarihinin en ölümcül salgın hastalığı olmuştur. Bundan 200 yıl sonra ortaya çıkan Çiçek salgını ise nasıl başladığı bilinmemekle beraber o dönemki nüfusun %12,1'ine bulaşmış ve yaklaşık 56 milyon insanı ölüme götürmüştür. 1796 yılında aşının bulunması ve sonrasında aşının kullanımının yaygınlaşması sonucunda ortadan kaybolmuştur. 1918 yılında 1. Dünya Savaşı'nın sonlarına doğru ortaya çıkan İspanyol Gribi salgını iki yıl sürmüş ve

yaklaşık 45 milyon insan hayatını kaybetmiştir. Nüfusun %2,5 kadarına bulaşmıştır. İki yılın sonunda hastalanan insanların bağışıklık geçirmesi veya ölmesiyle İspanyol Gribi sona ermiştir. (Torrey, 2021)

COVID-19'un Çin Halk Cumhuriyeti'nin Wuhan şehrinde 2019 Kasım ayında ortaya çıktığı düşünülen yeni bir virüstür. Çin Halk Cumhuriyeti'nin 31 Aralık 2019 gününde Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ)'ne bilinmeyen bir etiyolojinin sebep olduğu bir grup zatürre vakasından bahseden bir rapor göndermesiyle resmîyet kazanmıştır. Rapordan bir ay sonra DSÖ salgını "Uluslararası Önem Arz Eden Halk Sağlığı Acil Durumu" olarak değerlendirmiştir. Virüs 3 ay içinde 117 ülkeye yayılmış, 125.000'den fazla insanı etkilemiş ve yaklaşık 4.600 insanın ölümüne sebep olmuştur. Bu gelişmelerin ardından DSÖ COVID-19 salgınının pandemi olduğuna kanaat getirmiştir. Çinli bilim adamları Ocak 2020'de virüsün gen dizilimini çözmüşler ve virüsün SARS-COV ailesine olan benzerliğini belirtmişlerdir. Yapılan araştırmalar sonucu bilim adamları virüsün oluşumu konusunda çoğunlukla iki görüşte fikir belirtmişlerdir. Bu görüşler; virüsün bir hayvan konakta doğal seçim ve sonrasında zoonotik transfer veya zoonotik transfer ve ardından insanlarda doğal seçim şeklindedir. (A. M. Assaf, 2021)

Hastalığın belirtileri; ateş, yorgunluk, kuru öksürük başta olmak üzere baş ağrısı, sırt ağrısı, ishal, tat ve koku kaybıdır. Hastalık ilerlediğindeyse solunum güçlüğü ve nefes darlığı, göğüs ağrısı görülmektedir. Virüs insandan insana öksürük, hapşırık ya da yakın mesafeden damlacık yoluyla bulaşmaktadır. Hastalık özellikle yaşlılarda ve kronik hastalığı olan insanlarda ağır seyretmekte, entübe edilmeye ve hatta ölüme neden olmaktadır. Buna rağmen yakalananların çoğu özellikle gençler ve bağışıklık sistemi güçlü olanlar hiç belirti göstermeden veya hafif atlatabilmektedirler.

Pandeminin başlangıcından bu yana DSÖ verilerine göre günümüz itibariyle 140 milyondan fazla insana bulaşıp 3 milyondan fazla insanın ölümüne sebep

olan COVID-19 virüsünün yayılma hızını durdurmak veya en azından yavaşlatmak için hükümetlerce pek çok önlem alınmıştır. Ülkeye girişlerde 14 gün karantina ve test zorunluluğu, testi pozitif çıkanlara 14 gün karantina uygulaması, kısmi ve tam sokağa çıkma yasakları, sosyal mesafe kuralları ve maske takma zorunlulukları gibi alınan tedbirler sağlık sistemlerini oluşabilecek zor durumlardan korumak için başarılı olsalar da çoğu ülke için pandemi bitirmekte yeterli olmamıştır. Bunun birçok sebebi vardır. Virüsün insan vücuduna girdiği kuluçka süresi denen ilk birkaç gün içinde de bulaşıcılığını koruması, asemptomatik hastaların çokluğu ve dolayısıyla farkına varılmayıp tespit edilemeyenler ve kurallara bilinçli bir şekilde uymayan insanlar başlıca nedenlerdir. Mart-Nisan ayları sürecinde dünyada ortaya çıkan tablo üçüncü dalganın yaşandığını göstermektedir. Vaka sayılarında dünyanın neredeyse her bölgesinde vaka artışları göze çarpmaktadır.

Türkiye'ye COVID-19 virüsü mart ayında girmiştir. Virüsün hızlı yayılımı durdurulmaya çalışılmış bu amaçla pek çok yasak ile "Yeni Normal" hayat düzeni geliştirilmiştir. Sosyal mesafe kuralları, kısmi sokağa çıkma yasakları ve maske takma zorunlulukları getirilmiştir. Okullarda uzaktan eğitime, bazı sektörlerde evden çalışmaya geçilmiştir. 65 yaş üstü yaşlı insanlara ve 20 yaş altı genç ve çocuklara sokağa çıkma yasakları uygulanmıştır. Alınan tedbirlere rağmen dünyanın geri kalanı gibi üçüncü dalganın oluşması engellenememiştir.

COVID-19 pandemisi sadece insan sağlığını tehdit etmemiştir. Dünya arzın oluşmaması ve talebin olmaması sebebiyle ekonomik bir krize doğru gitmektedir. Sokağa çıkma yasakları ve evden çalışmanın artması ile fabrikalar tam verimle çalışmamakta, yine aynı sebeplerden talep oluşmamaktadır. Hükümetler sokağa çıkma yasakları getirirken vatandaşlarına maddi güvence vermekte ve ödenekler ayırmaktadırlar. Pek çok özel şirket büyük zararlar açıklamışlardır. Özellikle hava yolu ulaşımı pandemiden en çok etkilenen sektörlerden olmuştur. Dünya genelinde işsizlik oranları artmış ve bu da

hükümetlerin üstüne yine ekonomik yük bindirmiştir. Bütün bu gelişmeler bilim adamlarının üzerindeki bir an önce aşı bulma baskısını arttırmıştır.

Pandemi ile bir yılın sonuna yaklaşırken yoğun çalışmalar sonucunda beş farklı aşı faz 3 denemesini başarıyla geçmiş, hastalığı önlemede, ağırlaşmasında ve özellikle hastalık sonucu ölümü engellemede başarılı oldukları kanıtlanmıştır. Bunlar; Sputnik V aşısı Rusya, Astra Zeneca aşısı İngiltere, Pfizer-Biontech aşısı Almanya, Sinovac aşısı Çin Halk Cumhuriyeti, Moderna aşısı Amerika Birleşik Devletleri tarafından bulunmuştur. Böylece dünyada aşı sıraları oluşmuş ve olabildiğince hızlı aşılama geçilmiştir. Türkiye’de aşılama hızla hareket eden ülkelerden biridir. Daha fazla ekonomik yıpranmaya neden olmamak, bir an önce normal hayata dönebilmek ve hastalığı ortadan kaldırmak için aşı planlamasının önemi çok büyüktür.

Kasım 2021 itibariyle dünyada hızla devam eden aşılama sonucunda, dünya nüfusunun %68,2’si yani 5.441.334.804 kişi en az 1 doz aşı olmuş, %64,4’ünün yani 5.003.971.162 kişinin ise tüm aşıları tamamlanmıştır. 1 doz aşılama özellikle Haziran ve Ağustos aylarında artış görülmektedir. Tüm aşıları tamamlanan insanların verisinde ise Ağustos ayı göze çarpmaktadır. Takviye aşısı ise Ocak 2022’den itibaren artış yaşanmıştır. Takviye doz olan insan nüfusu 2.591.137.686’dır (M., 2021).

Özellikle Avrupa ve Amerika’da aşılama hızla devam etmektedir. Asya kıtasında Çin Halk Cumhuriyeti, Güney Amerika’da ise Şili ve Uruguay yüksek aşılama oranına sahiptir. Bununla beraber özellikle Afrika kıtasında aşılamanın çok yavaş ilerlediği görülmektedir. COVID-19 salgınından ve yıkıcı etkilerinden bir anda önce kurtulabilmek için dünyanın her yerinde aşılamanın çok önemli olduğu ve ancak dünya nüfusunun büyük çoğunluğu aşılanınca toplum bağışıklığının sağlanabileceğini göz önünde bulundurmak gerekmektedir (M., 2021).

Ülkemizde aşılama hızla devam etmektedir. Kasım 2021 tarihiyle birlikte vatandaşların bir doz aşılması %93,35 oranını bulmuştur. İkinci doz aşılama oranı ise %85,67'dir. Toplam uygulanan doz sayısı 152.524.174'tür (Bakanlığı, TC Sağlık Bakanlığı Covid-19 Aşısı Bilgilendirme Platformu, 2021).

Türkiye'de pek çok ilde aşılama %75 barajını geçmiştir. Özellikle Osmaniye, %89,5, Ordu %89, Muğla %87,6, Amasya % 87,5 ve Kırklareli % 87,1 ile Türkiye'de en yüksek aşılama oranına sahip şehirlerdir. Grafiğe bakıldığında %55 aşılama oranının altında kalan bir il olmadığı görülmektedir. Doğu Anadolu Bölgesi'nin bir kısmı ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bu barajın altında kalan iller vardır. Doğu Anadolu Bölgesi'nde olan Şanlıurfa ve Batman şehirlerinde de aşılama oranının düşük olduğu görülmektedir. Şanlıurfa %62,8, Batman %63,1, Siirt % 63,6, Diyarbakır %64,3 ve Bingöl %64,9 oranlarıyla bu bölgelerde yer alan aşılama oranı en düşük olan şehirlerdir. Yoğun bakımlardaki doluluk oranlarının özellikle bu illerde yüksek olduğu bilinmektedir (Bakanlığı, TC Sağlık Bakanlığı Covid-19 Aşısı Bilgilendirme Platformu, 2021).

Afetler insan hayatını olumsuz yönde etkileyen, yerel imkanlar veya kaynaklarla engellenemeyen insan eliyle veya doğal olarak ortaya çıkan doğa olaylarıdır. İnsanlık modern zamanlara kadar pek çok afete tanık olmuştur.

İnsani yardım lojistiği afet öncesinde olası afetlere yönelik tedbir ve hazırlık, sonrasında ise iyileştirme ve oluşan zararları giderme amacıyla sistemli ve planlı çok kapsamlı, karmaşık modellerdir. Afetzedelere yardımın mümkün olduğunca hızlı ve eksiksiz ulaşması için, gerekli yardımların depolanması, bir afet durumunda sivillerin toplanma alanları, yardımların toplanma alanlarına ulaşımında kullanacakları yolların haritalanması gibi faaliyetlerin önceden planlanıp gerektiği zamanda uygulanması afet anında kritik önem taşımaktadır. Aşağıda literatür araştırması tablosu yer almaktadır. Web of Science ve



ResearchGate platformlarından yararlanılmış ve “İnsani Yardım Lojistiği”, “Humanitarian Logistics” anahtar kelimeleri aratılmış, “Open Access”, “Article” ve “Operation Research Management Science” filtreleri kullanılmıştır. Tabloda yazar veya yazarlar, çalışmanın yayınlandığı yıl ve çalışma hakkında kısa açıklamalar verilmiştir.

Yazar	Yıl	Açıklama
N. Altay ve W.G. Green	2006	Afetler ve insani yardım lojistiğinden: “Afetler, toplulukların ve ulusların nüfuslarını ve alt yapılarını etkili bir şekilde koruma hem insan hem de mal kaybını azaltma ve hızla iyileşme yeteneklerini test eden büyük, inatçı sorunlardır. Etkilerin ve sorunların görünen rastgeleliği ve olayların benzersizliği, dinamik, gerçek zamanlı, etkili ve uygun maliyetli çözümler gerektirir ve böylece konuyu yöneylem araştırması için çok uygun hale getirir.” diyerek söz etmişlerdir. Afet operasyonları yönetiminde OR/MS araştırması isimli bu makale insani yardım lojistiğinin potansiyel araştırma yönleri belirlenmiştir. Bu alanda literatürde bir başlangıç noktası olmuştur (N. Altay, 2006).
L.N. Van Wassenhove	2006	Özel sektör lojistiğinin afet lojistiğinin performansını iyileştirmek için uygulanabileceğine ve uygulanması gerekliliği ile ilgili bir makedir (Wassenhove, 2006).
G. Kovács ve K.M. Spens	2007	İnsani yardım lojistiğinin genel tanımı yapılmış, zorlukları ve özelliklerinden bahsedilmiştir (G. Kovács K. S., 2007).
H.Z. Jia ve diğerleri	2007	Büyük ölçekli acil durumlarda tıbbi malzemelerin ve tesislerin konumlarının belirlenmesi için modeller ve çözüm önerileri geliştirilmiştir. Talep noktalarına farklı mesafelerde bulunan çok sayıda tesisten hizmetler sağlanarak talep belirsizliği ve tıbbi arz yetersizliği problemi üzerinde durulmuştur (H.Z. Jia, 2007).
B. Balçık ve B.M. Beamon	2008	Bir afet durumunda müdahale tesisleri için tesis yeri kararları, tesis yerleri sayısı ve tesis yerlerinde ne kadar yardım malzemesi stoklanması gerektiği gibi kararlar verilmeye çalışılmıştır. Oluşturulan model gerçekçi bir problem üzerinde örneklendirilmiştir (B. Balçık, 2008).
G. Kovács ve K. Spens	2009	Farklı afet türleri, afet yardımının aşamaları ve insani organizasyon türü ile ilgili zorluklar belirlenmiştir. Bu zorlukları tanımlamak için bir temel olarak hizmet eden kavramsal bir model oluşturulmuştur (G. Kovács K. S., 2009).
M. Huang ve diğerleri	2012	Performans ölçümleri tanımlanmıştır. Verimlilik, etkinlik ve eşitliğin kaynakların dağılımı ve araç rotalamalarının yapısını nasıl etkilediği incelenmiştir (M. Huang, 2012).
L. Özdamar ve O. Demir	2012	Talep noktalarını her bir planlama aşamasında daha küçük kümelere atayan ve küme yönlendirme probleminin optimal çözümünü sağlayan çok aşamalı bir kümeleme algoritması oluşturulmuştur. Böylece afet sonrası dağıtım ve tahliye faaliyetlerine koordine edebilecek bir araç rotası meydana getirilmiştir (L. Özdamar, 2012).

G. Galindo ve R. Batta	2013	N. Altay ve Walter G. Green'in 2006 yılında yayınladıkları makalenin devamı niteliği taşımıştır. Son 7 yılda literatürde insani yardım lojistiği alanında ne kadar katkı sağlandığı incelenmiştir. Araştırma sonucunda literatürde bu alanda ciddi bir gelişme olmadığı tespit edilmiş ve araştırma eksiklikleri ortaya çıkarılıp araştırma önerileri sunulmuştur (G. Galindo, 2013).
R. Abounacer ve diğerleri	2014	Afet bölgelerine müdahale için üç amaçlı bir konum-ulaşım problemi oluşturulmuştur. Konum problemi afet bölgesinde gerekebilecek yardım malzemesi dağıtım merkezlerinin sayısını ve konumunu belirlemeyi amaçlarken; ulaştırma problemi, talep noktalarına yardımların dağıtımını ele almaktadır. Problemin birinci amacı ihtiyaç malzemelerinin talep noktalarına taşınma süresini minimuma indirmektir. İkinci amaç oluşturulan dağıtım merkezlerinin açılması ve işletilmesi için gereken acente sayısını en aza indirmektir. Üçüncü amaç ise etkilenen afet bölgesindeki kapsanmayan talep noktalarını en aza indirmektedir (R. Abounacer, 2014).
Y. B. Chang ve diğerleri	2021	Bu makale, kasırga sonrası insani yardım lojistiği operasyonları sırasında gelişen belirsiz lojistik sistem durumunu ele almak için yuvarlanan ufuk yaklaşımında iki aşamalı bir stokastik programlama modeli uygulayan yeni bir stokastik ileriye dönük çerçeve önermektedir. Bu yuvarlanan ufuk yaklaşımında yürütülen iki aşamalı stokastik programlama modeli, bir karma tamsayılı programlama problemi olarak formüle edilmiştir. Model, nakliye maliyeti ve sosyal maliyetten oluşan lojistik operasyonlarda oluşan toplam maliyeti en aza indirmeyi amaçlamaktadır (Y. B. Chang, 2021).
P. D. Fiorini ve diğerleri	2021	Bu çalışma, insani tedarik zincirlerinin insani yönlerine ilişkin araştırmaların mevcut durumunu incelemeyi amaçlamaktadır. Dergi makalelerinin orijinal bir kodlamasını ve derinlemesine analizini kapsayan sistematik ve kapsamlı bir literatür taraması yoluyla, bu çalışma bir araştırma gündemi ve insani yardım operasyonlarında insan kaynakları yönetimi (İKY) ile ilgili bir dizi ders sunmaktadır (P. D. Fiorini, 2021).
M. Yang ve diğerleri	2021	Afet müdahalesi için stratejik tesis konumlarında birden fazla afet yardım ögesinin stoklanması için senaryoya dayanıklı optimizasyon modelleri geliştirilmiştir. Çalışmadaki modeller, stokastik bir programlama modelinde belirsiz parametreler için kesin olasılık dağılımları sağlamanın zor ve genellikle imkansız olan görevini kolaylaştırarak çözümlerin sağlamlığını geliştirmiştir (M. Yang, 2021).
O. Rodriguez-Espindola	2023	Eşzamanlı felaketlerin neden olduğu belirsizliğin olduğu ortamlarda entegre karar vermeyi destekleyebilecek analitik modeller sağlamaya ihtiyaç vardır. Ancak, birden çok tedarikçiyi, birden çok acenteyi ve eşzamanlı felaketleri birleştiren bu kararları ele alan herhangi bir formülasyon yoktur. Bu makale, eşzamanlı afetlerin meydana gelmesinden kaynaklanan belirsiz ortamlarda birden fazla paydaşın etkileşimini göz önünde bulundurarak, afete hazırlık ve acil müdahale için yeni bir iki amaçlı iki aşamalı stokastik formülasyonu tanıtmaktadır. İlk aşamada, tedarikçilerin seçimi, kritik tesisler, ilgili kurumlar ve afet öncesi satın alma ile ilgili kararlar tanımlanır. Kaynak tahsisi, yardım dağıtımı ve olaylardan sonra ekstra kaynakların teminine ikinci aşamada

		karar verilir (Rodriguez-Espindola, 2023).
--	--	--

Tablo 1. İnsani yardım lojistiği literatür araştırması tablosu

Literatür incelemesi sonucunda insani yardım faaliyetlerinin her alanında farklı yöntemlerin incelendiği gözlemlenmiştir. Ayrıca iki aşamalı stokastik formülasyonların sıkça kullanıldığı da göze çarpmaktadır Bu çalışma da üç farklı problemi geniş ölçekli bir örnekte uygulayıp karşılaştırarak literatüre katkı sağlamaktadır.

## 2. BÖLÜM: METODOLOJİ BÖLÜMÜ

Bu çalışmada Ankara'nın Çankaya ilçesi üzerinde gezgin satıcı problemi, araç rotalama problemi ve küme ayrıştırma problemi uygulanmıştır. Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı arz noktası olarak belirlenmiş ve buradan Çankaya sınırları içerisindeki mahallelerin muhtarlıklarına rotalar belirlenmiştir. Çankaya ilçesindeki 115 mahalle talep noktası olarak belirlenmiş olup ilçeye bağlı 8 köy göz ardı edilmiştir. Toplamda 116 nokta arasında uygulanan modeller daha sonra mesafe açısından karşılaştırılmışlardır. Modeller oluşturulurken 2019 yılına ait Çankaya mahallelerinin popülasyon verileri kullanılmıştır. Araç rotalama problemi çözülürken Clarke-Wright sezgiselini uygulayan VRP Solver'dan yararlanılmıştır.

Çalışmanın bu bölümünde uygulanan problemler ve matematiksel modelleri incelenmiştir. Bununla birlikte faydalanılan algoritmalara değinilmiş ve problemlere ait literatür araştırmasına yer verilmiştir.

### 2.1. GEZGİN SATICI PROBLEMİ İLE DAĞITIM

Gezgin Satıcı Problemi (GSP), birçok noktanın olduğu bir haritada bir araçla noktaların hepsinin dolaşıldığı ve hepsine sadece bir kere uğrandığı optimizasyon problemidir. Amaç düğümler arasındaki uzaklık, süre veya maliyetin en aza indirgenmesidir. Problemden noktalardan birinden başlanır ve bütün noktalar dolaşıldıktan sonra tekrar başlangıç noktasına gelerek rota oluşturulur. Olabilecek noktaların ve düğümlerin sayısının çokluğu nedeniyle yüksek sayıda alt turların oluşabileceği ve oluşacak alt turların çözümün süresini uzatabileceği için alt tur elimine edecek algoritmalara başvurulur.

### 2.1.1. Literatürde Gezgin Satıcı Problemi

Bu kısımda literatür araştırması tablosu verilmiştir. Literatür araştırması yapılırken Web of Science ve ResearchGate platformları kullanılmış ve “Traveling Salesman Problem” anahtar kelimeleri aratılmış, “Open Access”, “Article” ve “Operation Research Management Science” filtreleri uygulanmıştır. Tabloda yazar veya yazarlar, çalışmanın yayınlandığı yıl ve çalışma hakkında kısa açıklamalar verilmiştir.

Yazar	Yıl	Açıklama
Karl Menger	1920	Menger o zamanlar problemi ‘Haberci Sorunu’ olarak adlandırmıştır. Haberci Problemi GSP’de olduğu gibi sınırlı sayıda ve birbirlerine olan uzaklıkları bilinen noktaları birleştiren en kısa rota olarak tanımlanmıştır. GSP daha sonra 1940’lı yıllarda birçok istatistikçi tarafından incelenmiştir. 1940’ta Mahalanobis, 1942’de Jessen, 1948’de Gosh ve yine 1948’de Marks bir tarım uygulamasında bu problemi ele almışlardır. Bu uygulama 1938’de yapılan bir tarım arazisi araştırmasıyla bağlantılı olarak Öklid düzleminde rastgele seçilen noktalar arasında ekipman ve iş gücü taşınmasını GSP uygulayarak incelemiştir.
G. Morton ve A.H. Land	1955	Çamaşırhane arabası sorunu olarak adlandırdıkları bir GSP çalışması hazırlamışlardır. Makalede GSP’nin doğrusal programlama ile çözülmesi incelenirken 3-opt iyileştirmesinden yararlanmaları dikkat çekmektedir (G. Morton, 1955).
M.M. Flood	1956	Bu makalede iyi turlar elde etmek için kullanılan bazı sezgisellerden, en yakın komşu sezgiselinden ve 2-opt iyileştirmeden bahsedilmiştir (Flood, 1956).
F. Bocks	1958	GSP ve benzer ağ optimizasyon problemlerini çözmek için bir algoritma geliştirmiştir. Çalışması aynı yıl Amerika Yöneyem Araştırmaları Derneği, On dördüncü Ulusal Toplantısında sunulmuştur. Bocks, 3-opt algoritmasının yanı sıra optimal turu hesaplamak için numaralandırma şeması oluşturmuştur (Bocks, 1958).
George.B. Dantzig, D.R. Fulkerson ve S.M. Johnson	1959	Makalede 10 noktalı bir GSP problemi oluşturulmuş ve adım adım çözüm gösterilmiştir (G. B. Dantzig, 1959).
R. Bellman	1960	Makalede GSP’yi kombinatoryal bir problem olarak ele almış ve dinamik programlama ile çözülmüştür. (Bellman, 1960)
R.L. Karg ve G.L. Thompson	1964	Makalelerinde 57 şehirlik bir GSP problemini sezgiseller yardımıyla çözmüşlerdir (R.L. Karg, 1964).
R.M. Karp ve	1970	Makalede GSP’nin 1 ağaç gevşemesi ve optimal 1 ağaç tarafından

M. Held		verilen sınırı geliştirmek için düğüm ağırlıklarını kullanma fikri incelenmiştir (R.M. Karp, 1970).
M. Held ve diğerleri	1984	Optimizasyon veya matematiksel programlama alanında IBM tarafından yürütülen kapsamlı bir araştırma yürütüldü. Bu makale, şimdiye kadar çözülmüş en büyük seyyar satıcı probleminde kullanılan tekniklerdeki son gelişmeleri ve bu çalışmalardan bazılarını gözden geçiriyor (M. Held, 1984).
Y.N. Lien ve diğerleri	1993	Çalışma genelleştirilmiş gezgin satıcı problemi üzerine yapılmıştır (Y. N. Lien, 1993).
D. Karapetyan	2009	Genelleştirilmiş gezgin satıcı problemi (GSP), gezgin satıcı probleminin bir varyasyonudur. GSP'de, şehirleri gruplara ayıran bir bölüm verilmiş ve her gruptan tam olarak bir şehri içeren minimum uzunlukta bir tur bulunması planlanmıştır. Bu makalenin amacı, gereksiz köşeleri ve kenarları silen ve optimal çözümü koruyan bir problem azaltma algoritması sunmaktır (Karapetyan, 2009).
J. J. Schneider ve diğerleri	2010	Bu makalede bir kümenin tüm düğümleri bitişik olarak ziyaret edilecek şekilde düğümleri kümelerle gruplandırılmıştır ve kümelerin boyutlarını yöneten bir kümeleme parametresiyle otomatik bir kümelemeye yol açan bir yaklaşım sunmuşlardır (J. J. Schneider, 2010).
M. Patterson ve D. Friesen	2019	Bu makale, tablo optimizasyonu ve bu optimizasyonun özellikle kombinatoriyal problemlere yönelik modellenmesini anlatmaktadır. Klasik Gezgin Satıcı Probleminin varyantları, Darboğaz GSP ve Varyasyon Darboğaz GSP dahil olmak üzere geliştirilmiştir (Friesen, 2019).
E. Barrena ve diğerleri	2022	Bu makalenin amacı, mGSP'yi anlatmak ve kullanılan farklı algoritmaları keşfetmektir (E. Barrena, 2022).
M. A. Nguyen ve diğerleri	2022	Bu makale, paralel dron çizelgeleme gezici satıcı problemini tam olarak çözmek için verimli bir branch-and-cut algoritması önermektedir. Problem ilk olarak, mevcut modellerde olduğu gibi yönlendirilmiş yollar üzerinde değil, yönsüz kenarlarda tanımlanan kamyon akış değişkenleri ile karma tamsayı bir doğrusal program olarak ödeme yapmaktır. Formülasyon daha sonra geçerli eşitsizliklerle güçlendirilir ve dal-ve-kes algoritması geliştirilir (M. A. Nguyen, 2022).
Z. Zhao ve diğerleri	2022	COVID-19 salgınının yayılması, uçtan uca temassız çözümlerde denemelerden ticari uygulamalara kamyon-drone teslimatını desteklemiştir. Kamyon-drone teslimatını temassız çözümlere tam olarak entegre etmek için, bir dronun belirsizlik altında rotasında hareket eden kamyonu teslimat yaptığı ve geri döndüğü, güçlü seyyar satıcı problemini bir drone ile tanıtıyoruz. Zorluk, kamyon-drone yönlendirmesindeki her müşteri konumu için, beklenen üretim süresini en aza indirecek bir atama bulmaktır (Z. Zhao, 2022).

Tablo 2. GSP literatür araştırması tablosu

### 2.1.2. Gezgin Satıcı Problemi Matematiksel Modeli

Çalışmanın bu bölümü Gezgin Satıcı Problemi'ne ait matematiksel modeli içermektedir. Karar değişkenleri, amaç fonksiyonu ve kısıtlar aktarılmış ve ilerleyen kısımda da MTZ algoritmasından ve Tembel Kısıtlar'dan bahsedilmiştir.

$D = (N, A)$  seriminde  $x_{ij}$  0 - 1 değişkendir ve  $i$  ve  $j$  noktaları arasındaki akışı gösterir. Değişken 1 değerini alırsa  $i$ 'den  $j$ 'ye giden yay rotaya dahil edilmiştir.

Problem minimum mesafeyi veya maliyeti verecek optimal rotayı bulmayı ve bu minimum maliyeti hesaplamayı amaçlar.

#### *İndisler*

$I$ : Arz noktaları

$J$ : Talep noktaları

#### *Parametreler*

$c_{ij}$ :  $i$  noktası ile  $j$  noktası arasındaki uzaklık

#### *Karar Değişkenleri*

$x_{ij}$ :  $i$  noktasından  $j$  noktasına gidilmiş ise 1, gidilmemişse 0

$$\text{Amaç Fonksiyonu: } \min \sum_{i \in N} \sum_{j \in N, j \neq i} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$x_{ij} \in \{0,1\} \forall i \neq j, \quad (2)$$

$$\sum_{j:j \neq i} x_{ij} = 1, \forall i \in N \quad (3)$$

$$\sum_{i:i \neq j} x_{ij} = 1, \forall j \in N \quad (4)$$

- (1) Numara amaç fonksiyonudur. Burada her i j noktaları arasındaki akışın uzaklıklarının toplamı minimize edilmeye çalışılmıştır.
- (2) Numaralı kısıt  $x_{ij}$  karar değişkeninin sadece 0 veya 1 değerini alabildiğini göstermektedir. i noktasından j noktasına doğru bir akış varsa  $x_{ij}$  1 değerini alır. i'den j'ye gidiş yoksa  $x_{ij}$  0'dır. Her i ve j değeri birbirinden farklıdır.
- (3) Numaralı kısıt, rotadaki tüm noktalardan sadece bir çıkış olduğunu ifade etmektedir.
- (4) Numaralı kısıt, rotadaki tüm noktalara sadece bir geliş olduğunu anlatmaktadır.

Yani (2) ve (3) numaralı kısıtlarda her noktaya bir geliş ve bir çıkış olduğu yani depodan çıkan bir aracın bütün düğümlere uğrayarak sonra da depoya dönmesi durumu sağlanmaktadır (G. Ghiani, 2005).

Problem bu haliyle çözüldüğünde her zaman optimal sonuç elde edilememektedir. Depoda başlayıp bütün noktaları gezdikten sonra tekrar depoya dönen tek bir tur yerine birden çok alt turlar ortaya çıkabilmektedir. Bu yüzden de alt tur eleme kısıtları geliştirilmiştir. Alt tur eleme kısıtlarıyla problem çözüldüğünde depoda başlayıp bütün noktaları ziyaret edip tekrar depoya dönen tek bir rota koşulu sağlanmaktadır. Alt turlarda da her noktaya bir giriş ve



bir çıkış kısıtı sağlandığı için problem alt tur oluşturarak çözüme ulaşmayı optimal sonuç olarak varsayar. Alt tur eleme kısıtları ise bütün alt turları tek bir rota olacak şekilde birleştiren ve optimal sonucu bulan kısıtlardır.

Geliştirilmiş MTZ Formülasyonu 1960 yılında Miller-Tucker-Zemlin tarafından ortaya sürülmüştür. Başlangıçta ARP problemleri için geliştirilen bu yöntem, GSP’de ortaya çıkan alt turları engellemekte kullanılır (Bazrafshan, 2021).

MTZ formülasyonu sayesinde tek seferde bütün alt turlar elimine edilir. Burada probleme yeni bir karar değişkeni girer.  $u_i$  karar değişkeni çözüme giren tüm noktaların sırasını gösterir ve sıranın bozulmasını önler. Her nokta için bir  $u_i$  değişkeni vardır bu da değişkenin tek indisli olduğunu gösterir.  $i$  noktasından  $j$  noktasına doğru bir rota varsa  $j$  noktasının  $u$  değişkeni yani sıralaması  $i$  noktasının  $u$  değişkeninden bir büyüktür. Bu koşul aşağıdaki denklemde matematiksel olarak gösterilmiştir.

$$u_i + 1 \leq u_j + (n-1)(1-x_{ij}) \quad \forall i \in N, \forall j \in N, i \neq 1, j \neq 1, i \neq j$$

$$2 \leq u_i \leq n \quad i \in N, i \neq 1$$

$$u_1 = 1 \quad u_i \geq 0, \text{ tam sayı } \forall i \in N$$

Bu kısıt sayesinde  $x_{ij} = 1$  olduğu zaman yani  $i$ 'den  $j$ 'ye gidildiğinde  $u_j$ 'nin  $u_i$ 'den bir büyük olması koşulu sağlanarak bütün noktaların sırası belirlenmiş olduğu gibi alt turların oluşması da önlenir.

Bu yeni kısıtlar her nokta için hesaplandığı için modele  $(n - 2)^2$  tane yeni kısıt eklenmiş olur. Ayrıca  $n \cdot (n - 1)$  tane 0–1 değişken ve  $n(n - 1)$  tane sürekli değişken de çözüme girer. MTZ formülasyonu bu yönüyle GSP modelinde

optimal bir sonuca ulaşmayı sağlasa da problemi oldukça karmaşıktır (R. Bazrafshan, 2021).

Daha sonra MTZ formülasyonu geliştirilerek aşağıdaki halini almıştır.

$$u_i + 1 \leq u_j + N \cdot (1 - x_{ij}) \quad \forall i \in N, \forall j \in N, i \neq 1, j \neq 1, i \neq j$$

$$u_j \leq N - 1 - (N - 2) \cdot (x_{1j}) \quad \forall j \in N, j \neq 1$$

$$u_i \geq 1 + (N - 2) \cdot (x_{i1}) \quad \forall i \in N, i \neq 1$$

$$u_i \geq 0, \text{ tam sayı} \quad \forall i \in N$$

Geliştirilmiş MTZ ile performansı artsa da problem büyüdükçe çözüme ulaşmak zorlaşabilmekte hatta bazı durumlarda mümkün olmayabilmektedir.

Kombinatoriyal optimizasyon problemleri yani sonlu sayıda uygun çözümü olan optimizasyon problemleri üzerine uzun zamandır yürütülen çalışmaların sonucunda bazı problemler için çözüm süresini kısaltabilecek bir takım optimizasyon yaklaşımları geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlardan biri Tembel Kısıtlardır (Lazy Constraints). Buradaki amaç problemin başında sadece temel kısıtları çözüme katarak formüle etmek ve daha nadir ihlal edilenleri ise atlamaktır. Böylece daha yalın bir çözüm modeli geliştirilir. Daha sonra bu nadiren ihlal edilen kısıtlar kontrol edilir ve elde edilen çözümde bu kısıtlardan biri ihlal ediliyorsa bu kısıtlar birer birer modele eklenir. Bu demek oluyor ki bağlayıcı kısıtlar haricinde bazı kısıtlar yalnızca çözümde ihlal edilirse modele eklenmektedir. Geliştirilen bu daha sade model daha az kısıtın dikkate alınması ile daha hızlı bir çözüme ulaşmayı sağlar. Bu tezde Gezgin Satıcı Problemi oluşturulurken bu yaklaşımdan yararlanılmıştır. Gerekli Python kodu Gurobi çözücüsünün sayfasından elde edilmiştir.

## 2.2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ İLE DAĞITIM

Araç Rotalama Problemleri Gezgin Satıcı Problemleri gibi minimum maliyet veya mesafeyi hesaplayacak şekilde oluşturulan modellerdir. Gezgin Satıcı Problemi'nden farklı olarak Araç Rotalama Problemi'nde birden çok araç ile birden fazla rota oluşturulur. Yani bir arz noktasından birden çok dağıtıcı çıkar. Her noktaya mutlaka bir giriş ve bir çıkış olması sağlanır yani farklı araçlar aynı talep noktasına uğramaz ve dağıtıcılar arz noktasına geri dönerek rotayı sonlandırır. Bu problemlerde dağıtıcıların kat edecekleri maksimum mesafe, dağıtıcıların ağırlık kapasitesi, talep noktalarına ait talep bilgilerinden yararlanır.

Araç Rotalama Problemi kendi içinde dörde ayrılır:

- Kısıtlarına göre
  - Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
  - Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi
  - Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
  - Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi
  - Periyodik Araç Rotalama Problemi
  - Stokastik Araç Rotalama Problemi
  - Bölünmüş Araç Rotalama Problemi
  - Zaman Bağımlı Araç Rotalama Problemi
  - Çok Depolu Araç Rotalama Problemi
- Yolların durumuna göre
  - Simetrik Araç Rotalama Problemi
  - Asimetrik Araç Rotalama Problemi
- Rotalama durumuna göre
  - Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi
  - Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemi
- Çevre durumuna göre

- Dinamik Araç Rotalama Problemi
- Statik Araç Rotalama Problemi

Dağıtım aracının belli bir ağırlık kapasitesi olması ve modelde bunun göze alınması gerekiyorsa Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (E. Wasil, 2008), dağıtıcı araç dağıtım sırasında sadece dağıtmayacak aynı zamanda toplayacak ve depoya getirecekse, damacana su dağıtımında olduğu gibi, Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi çözülür. Dağıtım aracının dağıtım sırasında belli bir mesafenin üzerine çıkmaması gerekiyorsa Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi, amaç diğer dağıtıcılardan önce talep noktalarına ulaşmaksa ve rotalar rakip firmaların stratejilerine göre oluşturuluyorsa gerekiyorsa problem Periyodik Araç Rotalama Problemi'ne (E. Wasil, 2008) girer. Birden çok depodan dağıtıma başlanıyorsa Çok Depolu Araç Rotalama Problemi, talepler kesin olarak bilinmiyorsa Stokastik Araç Rotalama Problemi, belirli bir zaman aralığında dağıtım yapılıyorsa Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi, eğer bir müşteriye birden fazla araç dağıtım yapılıyorsa bu da Bölünmüş Araç Rotalama Problemi örneğidir. Son olarak düğümler arası dağıtım sürelerinin değiştiği durumlarda Zamana Bağımlı Araç Rotalama Problemi çözülür. Bunlar kısıtlarına göre araç rotalama problemleridir.

Yolların durumuna göre araç rotalama problemlerinde arz ve talep noktalarının konumu bilindikten sonra aralarındaki mesafeyi hesaplayarak bir mesafe matrisi oluşturulur. Bu matris eğer simetrikse yani her iki nokta arası gidiş ve dönüş mesafesi eşitse Simetrik Araç Rotalama Problemi çözülür. Bu da matrisin sadece yarısı kullanılarak çözüm yapılabilir demektir. Her iki nokta arası gidiş ve dönüş mesafesi eşit değilse Asimetrik Araç Rotalama Problemi çözülür (E. Wasil, 2008).

Rotalama durumuna göre Araç Rotalama Problemleri ikiye ayrılır. Eğer dağıtım araçları dağıtım noktasından başlayıp talep noktasına gidiyor ve dağıtım noktasına geri dönmüyorsa bu Açık Uçlu Araç Rotalama Problemidir.

Araçlar dağıtım noktasından başlayıp talep noktalarını gezdikten sonra depoya geri dönüyorlarsa bu da Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemidir.

Çevre durumuna göre araç rotalama problemleri; Dinamik ve Statik Araç Rotalama Problemleridir. Problem verilerinin bir kısmı veya tümü problemin başında bilinmiyorsa veya planlama sırasında değişebiliyorsa bu Dinamik Araç Rotalama Problemi'ne, problem verileri kesin ve net olarak problemin başında biliniyorsa bu da Statik Araç Rotalama Problemi'ne birer örnektir.

### 2.2.1. Literatürde Araç Rotalama Problemi

Bu kısımda literatür araştırması tablosu verilmiştir. Literatür araştırması yapılırken Web of Science ve ResearchGate platformları kullanılmış ve "Vehicle Routing Problem" anahtar kelimeleri aratılmış, "Open Access", "Article" ve "Operation Research Management Science" filtreleri uygulanmıştır. Tabloda yazar veya yazarlar, çalışmanın yayınlandığı yıl ve çalışma hakkında kısa açıklamalar verilmiştir.

Yazar	Yıl	Açıklama
Dantzig ve Ramser	1959	ARP bu makalede yazarların doğrusal programlamaya dayalı bir çözüm yöntemi geliştirmesi ile ortaya çıkmıştır (George.B. Dantzig, 1959).

Clarke ve Wright	1964	Makalede, Dantzig ve Ramser'in oluşturduğu ARP problemine sezgisel bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Yazıldığı zaman Wright-Fletcher-Clarke Algoritması olarak bilinen bu yeni sezgisel günümüzde Tasarruf Algoritması veya Clarke-Wright Algoritması olarak geçmektedir. Dantzig ve Ramser'in yaklaşımı müşterileri sadece uzaklıklarına göre birbirlerine yakın olan rotalara atamaya çalışırken, Clarke ve Wright bunu iki noktayı bir rotaya bağlarken mesafeden ve maliyetten elde edilebilecek tasarrufu göz önünde bulundurmuşlardır. Clarke ve Wright'ın yaklaşımında bu tasarrufun maksimize edilmesi esas alınmıştır (G. Clarke, 1964).
B.E. Gillet ve L.R. Miller	1974	Çalışmalarında Süpürme Algoritmasını ortaya koymuşlardır. Düzlemsel ARP örneklerine uygulanabilen bu algortimada bir noktadan başlayan araç önüne çıkan noktaların taleplerini karşılayarak yoluna devam etmektedir. Araç kapasitesi dolana kadar bu harekete devam eden araç, kapasite dolunca depoya dönerek başka bir rota oluşturur (B.E. Gillet, 1974).
M.L. Fisher ve R. Jaikumar	1981	Makalede geliştirdikleri algoritma iki aşamaya sahiptir. Birinci aşama uygun müşteri kümelerinin genel atama problemi çözerek oluşturulması, ikinci aşama ise her bir küme için GSP çözerek araç rotalarının oluşturulmasıdır (M.L. Fisher, 1981).
J.K. Lenstra ve A.H.G.R Kan	1981	Çalışmalarında ARP'nin NP-zor bir problem olduğunu ortaya koymuşlardır (J.K. Lenstra, 1981).
Gendreau ve diğerleri	2002	Filodaki her aracın belirli bir kapasiteye sahip olduğu ve müşteri taleplerinin bilindiği ARP problemleri Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemleridir. Makale bu konudan bahsetmektedir (M. Gendreau, 2002).
G. Laporte	2007	Makalesinde ARP'yi kapasite, mesafe ve zaman kısıtları kapsamında filodaki bütün araçların hedeflerine ulaşması için uygun rotaların oluşması olarak tanımlamıştır (Laporte, 2007).
P. Toth ve D. Vigo	2014	Çalışmalarında, ARP, ulaşım taleplerinin tamamını ya da bazısının minimum maliyetle araçların var olduğu bir kümeden, hangi talebin hangi sırayla karşılanacağına kararının verilerek rotaların oluşturulmasıdır diyerek açıklamışlardır (Vigo, 2014).

E.G.C Franco, J.A.H. Aguilar ve diğeri	2018	Örnek kümesi, analiz ve keşif amacıyla özel olarak hazırlanmış bir veri kümesidir. Bu makale, KKARP'yi çözmek ve hangisinin en iyi çözümü sunduğunu belirlemek için örnekler arasında bir karşılaştırma sunar (E. G. C. Franco, 2018).
H. Paz-Orozco ve diğeri	2022	Kırsal koşullarda ulaşım maliyetini belirlemek için karma tamsayılı programlamaya dayalı bir matematiksel model önerilmiştir. Cauca-Kolombiya'da bir kırsal belediye üzerinde örneklendirilmiştir. On dört aylık bir müdahalenin ardından, yalnızca beş rota oluşturan bir hesaplama deneyi oluşturulur (H. Paz-Orozco, 2022).
Y. X. Wu ve X. W. Lu	2022	Bu çalışmada çok araç kapasiteli araç rotalama problemi, bölünmemiş talep ile hat şeklindeki bir ağ üzerinde incelenmektedir. Amaç, kapasite kısıtlamasını ihlal etmeden tüm müşterilere hizmet verecek şekilde tek bir araçla kat edilen en uzun mesafeyi en aza indirecek bir ulaşım şeması bulmaktır (Y. X. Wu, 2022).

Tablo 3. ARP Literatür Araştırması tablosu

İncelenen literatürde görüldüğü gibi Araç Rotalama Problemi alanında yapılan çalışmalar çoğunlukla Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi üzerinedir. Bu çalışmada da KKARP çözülmüştür.

### 2.2.2. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi Matematiksel Modeli

Çalışmanın bu kısmında Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi anlatılmıştır. Matematiksel model verilmiş ve probleme ait karar değişkenleri, amaç fonksiyonu ve kısıtlar açıklanmıştır.

Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemleri (KKARP), bir depodan başlayıp bütün düğümlere uğrayıp depoya geri dönerek rotalar oluşturan eş kapasiteli araçlarla dağıtım yapıldığı bir ARP çeşididir. Bu problem türünde de araçların kapasiteleri ve müşteri talepleri bellidir.

KKARP'de  $n$  tane düğüm,  $k$  tane yaydan oluşan  $s=(D,Y)$  seriminde  $m$  tane araçla dolaşılacak rotaları en az maliyetle bulmak hedeflenir.  $D= \{ d_1, d_2, \dots, d_n \}$  düğümler kümesidir. Burada  $d_1$  depoyu gösterirken geri kalan düğümler araçların dolaşacağı noktaları gösterir. Deponun talebi 0'dır ve geri kalan noktaların  $q_i$  kadar pozitif birer talebi vardır.  $Y = \{(d_i, d_j): d_i, d_j \in D, i \neq j\}$  kümesindeki her  $(d_i, d_j)$  yayı için pozitif bir ulaşım maliyeti vardır. Bu maliyet  $c_{ij}$ 'dir. Bütün rotalar depoda başlayıp depoda biter ve her şehir sadece bir rotada yer alır. Bu her şehire sadece bir araç gider anlamına gelmektedir. Rotaların toplam talepleri araç kapasitesini geçemez. Toplam maliyeti minimize edecek şekilde rotalar oluşturmak modelin başlıca amacıdır.

### *İndisler*

İ: Arz noktaları

J: Talep noktaları

### *Parametreler*

$c_{ij}$ :  $i$  noktası ile  $j$  noktası arasındaki uzaklık

Q: Araç kapasitesi

$q_i$ :  $i$  noktasına ait talep

m: Araç sayısı

### *Karar Değişkenleri*

$x_{ij}$ :  $i$  noktasından  $j$  noktasına gidilmiş ise 1, gidilmemişse 0

$u_i$ :  $i$  noktalarının sıra değişkeni

$$\text{Amaç Fonksiyonu: } \min \sum_{i \in N} \sum_{j \in N, j \neq i} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Kısıtlar:



$$\sum_{j:j \neq i} x_{ij} = 1, \quad \forall i \in N/1 \quad (2)$$

$$\sum_{i:i \neq j} x_{ij} = 1, \quad \forall j \in N/1 \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N/1} x_{1j} = m \quad (4)$$

$$\sum_{i \in N/1} x_{i1} = m \quad (5)$$

$$u_i - u_j + Qx_{ij} + (Q - q_i - q_j)x_{ji} \leq Q - q_j \quad \forall i \in N, \forall j \in N, i \neq 1, j \neq 1, i \neq j, q_i + q_j \leq Q \quad (6)$$

$$u_i \geq q_i + \sum_{j \in N \setminus \{1, j \neq i\}} x_{ji} q_j \quad i \in N, i \neq 1 \quad (7)$$

$$u_i \leq Q - (Q - \max\{q_j: j \neq i\} - q_i) x_{1i} - \sum_{j \in N \setminus \{1, j \neq i\}} x_{ji} q_j \quad i \in N, i \neq 1 \quad (8)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, \forall j \in N \quad (9)$$

$$u_i \geq 0, \quad \text{tamsayı} \quad \forall i \in N \quad (10)$$

- (1) amaç fonksiyonudur. Bu problemin amacı depodan çıkan eş kapasiteli araçlarla bütün noktaları gezen rotaların toplam maliyetini ve uzaklığını minimize etmektir.
- (2) Numaralı kısıtta depoyu hariç tutarak bütün noktalara sadece bir gidiş olduğu gösterilmiştir.
- (3) Numaralı kısıtta yine depo hariç olmak üzere rotadaki bütün noktalardan sadece bir geliş olduğu anlatılmıştır.
- (4) Numaralı kısıt, depo başlangıç noktası olmak üzere depodan yola çıkan rotaların sayısı m'e yani araç sayısına eşittir.
- (5) Numaralı kısıt, yine depo başlangıç noktası olmak üzere depoya geri dönen rotaların sayısı m'e yani araç sayısına eşit olmak zorundadır.
- (6) , (7) ve (8) kısıtları alt tur önleme kısıtlarıdır.

(9) Numaralı kısıt  $x_{ij}$  karar değişkeninin sadece 0 veya 1 değerini alabildiğini göstermektedir.  $i$  noktasından  $j$  noktasına doğru bir akış varsa  $x_{ij}$  1 değerini alır.  $i$ 'den  $j$ 'ye gidiş yoksa  $x_{ij}$  0'dır. Her  $i$  ve  $j$  değeri doğal sayılar kümesine aittir.

(10) Numaralı kısıtta ise her  $i$  değerinin doğal sayı olduğu bütün  $u_i$  değerlerinin tam sayı olduğunu göstermektedir (H. A. Eiselt, 2022).

GSP probleminde her yeni  $u_j$  değeri  $u_i$  değerinden 1 fazlaydı, ARP probleminde ise rotaya her yeni nokta girdiğinde değeri bir önceki değerine göre yeni giren noktanın talebi kadar artmaktadır.

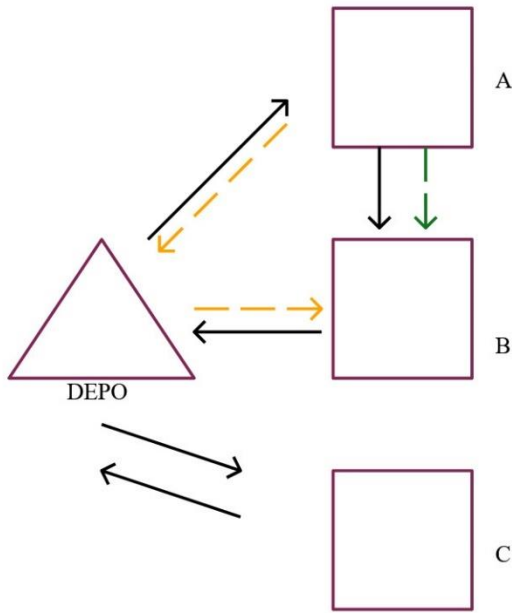
Problemdeki müşteri yani  $n$  sayısı arttıkça problem karmaşıklaşmaktadır. Çok büyük problemlerde modelin çözümlenmesi çok uzun zaman alabileceği için bu problemlere de yardımcı algoritmalar geliştirilmiştir. Problemin çözümlenmesini hızlandıran bu algoritmalar optimal sonucu vermese de optimale yakın bir sonuç verirler. Bu tezde Clarke-Wright Tasarruf Algoritmasından yararlanılmıştır (G. Clarke, 1964).

### 2.2.3. Clarke-Wright Algoritması

Bu bölümde Clarke-Wright Algoritması hakkında bilgi verilmiş ve çalışma mantığı açıklanmıştır. Bölümün ilerleyen kısımlarında Tasarruf Formülü verilmiştir.

Clarke-Wright Algoritması 1964 yılında geliştirilen sezgisel bir algoritmadır. Araç Rotalama Problemlerinde kullanılan bu algoritmanın bir diğer ismi Tasarruf Algoritmasıdır. ARP modellerinde kullanıldığđı için burada da bir merkezden yola

çıkan özdeş kapasiteli araçlarla birden çok müşteriye dağıtım yapıldıktan sonra araçların merkeze dönmeleri söz konusudur. Bu modeli çözerken temel alınan şey tasarruflardır. Yani hangi rotadan hangi müşteriye gidildiği ve bu rotanın kullanılmasının diğer rotalara göre ne kadar tasarruf sağladığı tek tek bütün müşteriler için hesaplanarak ilerlenir. Her aracın bir müşteriye gidip geldiği en kötü olduğu bilinen ama olası çözüm olduğu varsayılabilen durumdan başlanarak elde edilebilecek tasarruflar bulunur. Merkezden yola çıkan araç hangi müşteriye gitse daha tasarruflu olur, sonrasında depoya dönmesi veya başka bir müşteriye gitmesi durumu gidecekse hangi müşteriye giderse daha az maliyetli olur sorusu sorularak bir liste hazırlanır. Daha sonra en büyük tasarruftan başlanarak bu rotaların olası tüm birleştirmeleri bulunarak optimale en yakın sonuç hesaplanır.



Şekil 1. Clarke-Wright Algoritması tasarruf şeması

Yukarıdaki şekilde gösterildiği gibi depodan çıkan aracın önce A müşterisine gidip depoya dönüp sonra B müşterisine gidip tekrar depoya dönmesi yerine depodan çıkan aracın önce A müşterisine sonra B müşterisine gidip depoya

dönmesi çok daha tasarrufludur. Burada A müşterisinden depoya dönülmesi ve depodan B müşterisine gidilmesi işlemlerinin (sarı okla gösterilmiştir) getireceği zaman ve maliyetten tasarruf edilir. Yeni maliyet ise A ve B müşterileri arasındaki yolculuk (yeşil ok ile gösterilmiştir) sebebiyle oluşmuştur. Toplam tasarruf ise tasarruf edilen maliyetlerden yeni maliyeti çıkararak elde edilir.

$d(i,j)$ : müşteri ikililerinin arasındaki uzaklık

D: depo

$s(i,j)$ : (i,j) müşteri çiftlerinin tek rotada birleştirildiği takdirde elde edilecek tasarruf olmak üzere;

**Tasarruf formülü:**

$$s(i,j) = 2d(D,i) + 2d(D,j) - (d(D,i) + d(i,j) + d(D,j))$$

$$s(i,j) = d(D,i) + d(D,j) - d(i,j)$$

Bu bir ARP modeli olduğu için noktalar arası mesafeler bilinmektedir veya buldukları konumlar bilindiği için hesaplanabilmektedirler. Aynı şekilde müşteri talepleri ve araç kapasitelerine ait veriler de bulunmaktadır. Tasarruflar birkaç adım ile hesaplanır. İlk olarak tasarruflar yukarıda açıklandığı gibi ikili olarak hesaplanıp tasarruf listesi oluşturulur. Tasarruf ikilileri en büyükten en küçüğe doğru olacak şekilde sıralanır. Araç kapasitesi göz önünde bulundurularak aynı rotaya büyükten küçüğe doğru sıralanmış tasarruflar göz önüne alınarak müşteriler eklenir. Bu işlem sırasında üç maddeye dikkat edilir. Müşteri çiftlerinden herhangi biri bir rotada yer almıyorsa i ve j müşteri çiftlerini belirtmek üzere D-i-j-D rotası oluşturulur. İ veya j müşterilerinden yalnızca bir tanesi var olan bir rotada yer alıyorsa ve bu rota depodan hemen sonra ya da depodan hemen önce sıralanmışsa i-j ikilisi bu rotaya eklenir. Hem i hem j müşterileri zaten iki ayrı rotada yer alıyorlar ve her ikisi de kendi rotalarında depodan hemen önce veya hemen sonra geliyorsa bu iki rota birleştirilerek tek bir rota haline gelir. Tüm tasarruf ikilileri tamamlandığı zaman rotalar da

oluşmuş demektir. Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer şey ise her müşterinin sadece bir rotada bulunması yani her müşteriye sadece bir aracın gitmesidir.

Standart bir Clarke Wright Tasarruf Algoritması her durumda en yüksek tasarrufu sağlayan (i,j) ikililerini rotaya ekleyerek optimale yakın bir sonuca ulaşmaya çalışırken, sonradan daha fazla tasarruf sağlayabilecek (i,j) ikililerinin önceden kullanarak aslında daha az tasarrufa ulaşmaya neden olduğu durumlara yol açabilmektedir. Bu yüzden algoritmayı iyileştiren rassallaştırma yöntemi geliştirilmiştir. Buna göre her adımda en iyi (i,j) çiftini hemen rotaya eklemek yerine, en iyi k (derinlik) (i,j) ikilisinden rastgele birisini seçerek çözüme devam etmek sağlanır. K yani derinlik parametresi, 3 olması demek algoritmanın her aşamasında en iyi 3 (i,j) ikilisinden rastgele birinin çözüme girmesi demektir. Görüldüğü gibi derinlik burada en iyi kaç (i,j) ikilisinden rastgele birinin gireceğini belirlemektedir. İterasyon yani tekrar parametresi ise aynı işlemi birkaç kez yapmayı sağlar. Rassallaştırma ile yapılan işlemde en iyi tasarrufu veren (i,j) ikilisini seçmemek her zaman için en tasarruflu sonucu doğurmayabileceği için bunu tekrar parametresiyle tekrarlamak problemi daha iyi bir sonuca yaklaştıracaktır. Örnek vermek gerekirse; derinlik parametresi 4, tekrar parametresi 2 olarak belirlendiğinde, her aşamada en iyi 4 (i,j) ikilisinden rastgele biri seçilerek tasarruf hesaplanır. Her aşama için bu işlem 2 kere tekrarlanır ve elde edilen çözümlerin en iyisi ile çözüme devam edilir. Derinlik ve iterasyon parametrelerinin 1 alındığı durumda ise standart Clarke-Wright Tasarruf Algoritması çözülür. Bu parametreler ne kadar küçük olursa algoritma o kadar hızlı çalışır ama çözüm de bir o kadar zayıf olur.

Clarke-Wright Tasarruf Algoritması ile oluşturulan rotaları sonradan iyileştirebildiğimiz bazı yaklaşımlar vardır. VRP Solver'da bu yaklaşımlardan yararlanarak bulunan çözümü iyileştirmek mümkündür. 2 opt sezgiselinde rota içi değişimleri yapılarak çözüm iyileştirilir. Örneğin; dört düğümden geçen bir rotada yol çapraz hareketlerle değiştirilerek çözüm iyileştirilir. 2 opt

iyileştirmenin bir benzeri Or opt iyileştirmediir. Or opt iyileştirme ise birden fazla rota içi değişimlerin yapılabildiği bir yaklaşımdır. Or opt rota içi kaç değişim yapıyorsa onun ismini alır. Çözümde rota içi 3 değişim yapılmışsa 3 opt denilmektedir. Ayrıca farklı rotalardaki iki müşterinin rotalarından alınıp karşı rotaya yerleştirildiği yani takas yapıldığı bir diğer yaklaşım da swap yaklaşımıdır. Ağ üzerindeki tüm ikililer için baştan sona yapılır. Eğer bu iyileştirmeler sonucunda mesafe veya maliyet daha düşürülebiliyorsa bu yeni sonuç kaydedilir. Deneme yanılma yoluyla ilerleyen bir sezgisel olduğu görülmektedir. En iyi ve optimale en yakın çözümü bulmak için yapılan bu iyileştirmeler arttıkça problem karmaşıklaşmakta ve çözüm süresi artmaktadır.

### 2.3. KÜME AYRIŞTIRMA VE ROTALAMA PROBLEMİ

Çalışmanın bu kısmı küme ayrıştırma ve rotalama problemini tanıtmaktadır. Problem işleyişi anlatılmış ve matematiksel modele yer verilmiştir. Karar değişkenleri, amaç fonksiyonu ve kısıtlar gösterilmiştir.

#### 2.3.1. Literatürde Küme Ayrıştırma Problemi

Bu kısımda literatür araştırması tablosu verilmiştir. Literatür araştırması yapılırken Web of Science ve ResearchGate platformları kullanılmış ve “Set Partitioning Problem” ve “Set Partition” anahtar kelimeleri aratılmış, “Open Access”, “Article” ve “Operation Research Management Science” filtreleri uygulanmıştır. Tabloda yazar veya yazarlar, çalışmanın yayınlandığı yıl ve çalışma hakkında kısa açıklamalar verilmiştir.

Yazar	Yıl	Açıklama
-------	-----	----------

R.S. Garfinkel	1973	Bu çalışma seyyar satıcı problemi için bir dallanma algoritması için bir dallanma şeması geliştirir. Numaralandırma ağacının her köşesinde uygun kümenin bir bölümünün elde edilmesiyle Bellmore ve Malone'nin algoritmasını geliştirir (Garfinkel, 1973).
K. Darbydownman ve G. Mitra	1985	Küme kaplama, küme bölümlenme ve küme paketlemenin iyi bilinen sorunları tanımlanır ve aralarındaki ilişkiler ele alınır. Çalışmada genişletilmiş küme bölümlenme modeli adı verilen doğal bir genelleme sunulur ve üç standart modelin bu genellemenin özel durumları olduğu gösterilir (Mitra, 1985).
D. G. Cattrysse, M. Salomon ve L. N. Vanwassenhole	1994	Bu makale, geliştirilmiş atama problemi (GAP) için bir buluşsal yöntemi tartışmaktadır. GAP'ın amacı, her iş tam olarak bir makineye atanacak şekilde, M adet kısıtlı makineye J iş atama maliyetlerini en aza indirmektir (D. G. Cattrysse, 1994).
N. J. Rezanov, D. M. Ryan	2010	Danimarkalı yolcu demiryolu işletmecisi DSB S-tog A/S'den alınan verilere dayanarak, makinist kurtarma sorununa (TDRP) bir çözüm yöntemi geliştirildi. TDRP, bir küme bölümlenme problemi olarak formüle edilmiştir (Ryan, 2010).
D. Bredstrom ve diğerleri	2014	Bu çalışmada, sütun oluşturmayı kullanarak doğrusal programlama (LP) gevşemesini çözmede doğrudan bir küme bölümlenme problemine (SPP) tamsayı uygun sütunlar bulma olasılığını artırmak için yeni bir yaklaşım açıklanmaktadır (D. Bredstrom, 2014).
E. Ronnberg, T. Larsson	2014	Bu makale, bölümlenme problemlerini ayarlamak için böyle bir tamsayı sütun oluşturma yaklaşımı

		için bir çerçeve sunar. Tamamen tamsayı pivotların ve tamsayı sütun üretiminin temel ilkelerini verilmiştir (Larsson, 2014).
A.Tahir, G. Desaulniers, I. El Hallaoui	2020	Ayrışma (ISUD) algoritması kullanan integral tek yönlü, tümü önceden numaralandırılabilen bir dizi değişken içeren verimli bir şekilde ayarlanmış bölümlene problemlerini çözmek için yakın zamanda geliştirilmiştir. Bu birincil algoritma, kullanılan durdurma kriterine bağlı olarak optimal veya optimale yakın bir çözüme yol açan, azalan maliyetlerle bir dizi tamsayı çözüm üretir. Bu yazıda, çok sayıda değişkenle küme bölümlene problemlerini çözmek için ISUD ve sütun oluşturmayı birleştiren bir integral sütun oluşturma (ICG) buluşsal yöntemi geliştirilmiştir (A. Tahir, 2020).
I. Bakir ve diğerleri	2020	Bu yazıda, bölümleri (neredeyse) eşit kardinalitenin alt kümelerine ayırıyoruz. Tüm bu bölümlere bağlanan bölümün beklenen değerinin de bir hiyerarşi oluşturduğunu gösteriyoruz (I. Bakir, 2020).
K. Taheri, H. Moradi, Mostafa Tavassolipour	2022	Veri sınıflandırmasında özelliklerin boyutsallığının durumu hala açık bir konudur. Bu çalışmada bu sorunu çözmeye yönelik bir yaklaşım, özellikleri birkaç özellik alt kümesine ayırmaktır, dolayısıyla her alt küme için veri sınıflandırma görevi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, bu sınıflandırmaların bir topluluğu, sınıflandırma probleminin sonucu olarak rapor edilmiştir (K. Taheri, 2022).

Tablo 4. Küme Ayrıştırma literatür araştırması tablosu



İncelenen literatürlerde görüldüğü kadarıyla Küme Ayırıştırma Problemi alanında yapılan çalışmalar uygun kümelere ayırma ve atama, çok sayılı değişkenlerle sütun oluşturma ve veri sınıflandırma konularına odaklanmaktadır. Bu çalışmada da gerçek zamanlı bir problem üzerinde muhtarlıklar kümelere ayrıştırılarak minimum mesafeli rotalar oluşturulmaya çalışılmıştır.

### **2.3.2. Küme Ayırıştırma Problemi Matematiksel Modeli**

Günümüzde dünyada pek çok alanda kullanılan bir diğer problem Küme Ayırıştırma ve Rotalama Problemidir. Bu problemde elimizdeki düğümler kümesindeki noktaları belirli kısıtlar göz önünde bulundurarak kümelere ayırma ve sonra bir noktadan başlayıp aynı noktaya dönerek dağıtımını tamamlayan rotalar oluşturulması hedeflenmektedir. Problem iki aşamalıdır. Birinci aşamada problemdeki noktaları bilinen kısıtlara göre istenen sayıda kümelere ayırma işlemi yapılır. İkinci aşamada ise bu kümlerde en az mesafe amaçlanarak Gezgin Satıcı Problemi çözülerek rotalama yapılır.

Küme Ayırıştırma Problemi için ilk kısıt; bir  $j$  alt kümesinin bir elemanının sadece bir çözüme ait olması durumudur. Bu düğümler kümelere ayrıldığında bir noktanın sadece bir küme içinde olacağı ve kesişim kümesinin olmayacağı anlamına gelmektedir. Böylece birbirinden bağımsız kümelere bağımsız rotalamalar yapılmaktadır.

Küme Ayırıştırma Probleminde düğümlerin kaç kümeyle ayrılacağı ve düğümler arası mesafeler bellidir. Başlangıçta hangi noktaların başlangıç ve bitiş noktası olduğu bilinmemektedir ama problem çözümünde bu da ortaya çıkacaktır. Noktaların ait olduğu kümeler de belirlenecektir. Buradan her rotadaki başlangıç noktası sayısının belirlenen küme sayısına eşit olduğu da anlaşılmaktadır. Problem tasarlanırken her kümede maksimum kaç nokta olacağını belirlemek

mümkündür. Ayrıca noktaları bölgelere ayrıştırırken isteğe göre talep, nüfus verileri göz önünde bulundurularak Küme Ayrıştırma Problemi çözdürülebilmektedir. Bunu sağlamak için her bölge için maksimum nüfus ya da talep sınırı belirlenip ona göre bir kısıt yazılmaktadır.

Birinci aşama ile düğümleri belirlenen sayıda kümelere ayrıştırma işlemi tamamlanınca ikinci aşamaya geçilir. İkinci aşamada, aynı kümeye ait olan noktalar arasında  $n \times n$  yeni bir uzaklık matrisi oluşturulur. Daha sonra bu kümeler için GSP çözümlerle optimal rotalar bulunur. Bütün kümeler için bu işlem tekrarlanarak optimal mesafe ve uzaklığa ulaşılır. Kümelerin optimal sonuçlarını toplayarak da toplam mesafeye ulaşılmaktadır.

Küme Ayrıştırma Problemi'nin ilk aşamasında, noktalar belirlenen sayıda kümeye bölüştürülürler. Bu sırada varsa nüfus, talep veya benzer parametreler dikkate alınabilmektedir. İsteğe göre her kümede olabilecek maksimum nokta kısıtı da göz önünde bulundurulabilmektedir. Aşağıda birinci aşamanın matematiksel modeli gösterilmiştir.

### *İndisler*

İ: Arz noktaları

J: Talep noktaları

### *Parametreler*

$d_{ij}$ : i noktası ile j noktası arasındaki uzaklık

S: Küme sayısı

$p_i$ : i noktasına ait nüfus veya talep

maxP: Maksimum nüfus veya talep

maxN: Maksimum nokta sayısı

*Karar Değişkenleri*

$x_{ij}$ : i noktasından j noktasına gidilmiş ise 1, gidilmemişse 0

$y_j$ : j noktası bölge başlangıç noktasıysa 1, değilse 0

$$\text{Amaç Fonksiyonu: } \min \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j \in N} x_{ij} = 1, \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N} y_j = S \quad (3)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ij} \leq \max N \cdot y_j, \quad \forall j \in N \quad (4)$$

$$\sum_{i \in N} p_i x_{ij} \leq \max P, \quad \forall j \in N \quad (5)$$

$$x_{ij} \geq 0, \text{ binary} \quad \forall i \in N, \forall j \in N \quad (6)$$

$$y_j \geq 0, \text{ binary} \quad \forall j \in N \quad (7)$$

- (1) amaç fonksiyonudur. Buradaki amaç en az mesafe olmasını sağlamaktır.
- (2) Numaralı kısıt bütün noktaların sadece bir kümeye ait olmasını sağlayan kısıttır. Yani bir nokta birden başka kümede ve rotada olamaz.
- (3) Numaralı kısıt problem çözümünde belirlenen sayıda küme oluşmasını sağlamaktadır.
- (4) Numaralı kısıtta her bölgede en fazla kaç nokta olmasını belirleyen kısıttır.
- (5) Numaralı kısıt kümeler oluşturulurken maksimum nüfus, talep veya benzeri özellik sınırı aşılmaması kısıttır.

(6) Numaralı kısıt işaret belirleyici kısıttır.  $x_{ij}$  0 veya 1 değerini alır.

(7) Numaralı kısıt işaret kısıttır.  $y_j$  0 veya 1 değerini alır.

### İndisler

İ: Arz noktaları

J: Talep noktaları

### Parametreler

$c_{ij}$ : i noktası ile j noktası arasındaki uzaklık

### Karar Değişkenleri

$x_{ij}$ : i noktasından j noktasına gidilmiş ise 1, gidilmemişse 0

$$\text{Amaç Fonksiyonu: } \min \sum_{i \in N} \sum_{j \in N, j \neq i} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$x_{ij} \in \{0,1\} \forall i \neq j, \quad (2)$$

$$\sum_{j:j \neq i} x_{ij} = 1, \forall i \in N \quad (3)$$

$$\sum_{i:i \neq j} x_{ij} = 1, \forall j \in N \quad (4)$$

$$u_i + 1 \leq u_j + N \cdot (1 - x_{ij}) \quad \forall i \in N, \forall j \in N, i \neq 1, j \neq 1, i \neq j \quad (5)$$

$$u_j \leq N - 1 - (N - 2) \cdot (x_{1j}) \quad \forall j \in N, j \neq 1 \quad (6)$$

$$u_i \geq 1 + (N - 2) \cdot (x_{i1}) \quad \forall i \in N, i \neq 1 \quad (7)$$

$$u_i \geq 0, \text{ tam sayı} \quad \forall i \in N \quad (8)$$

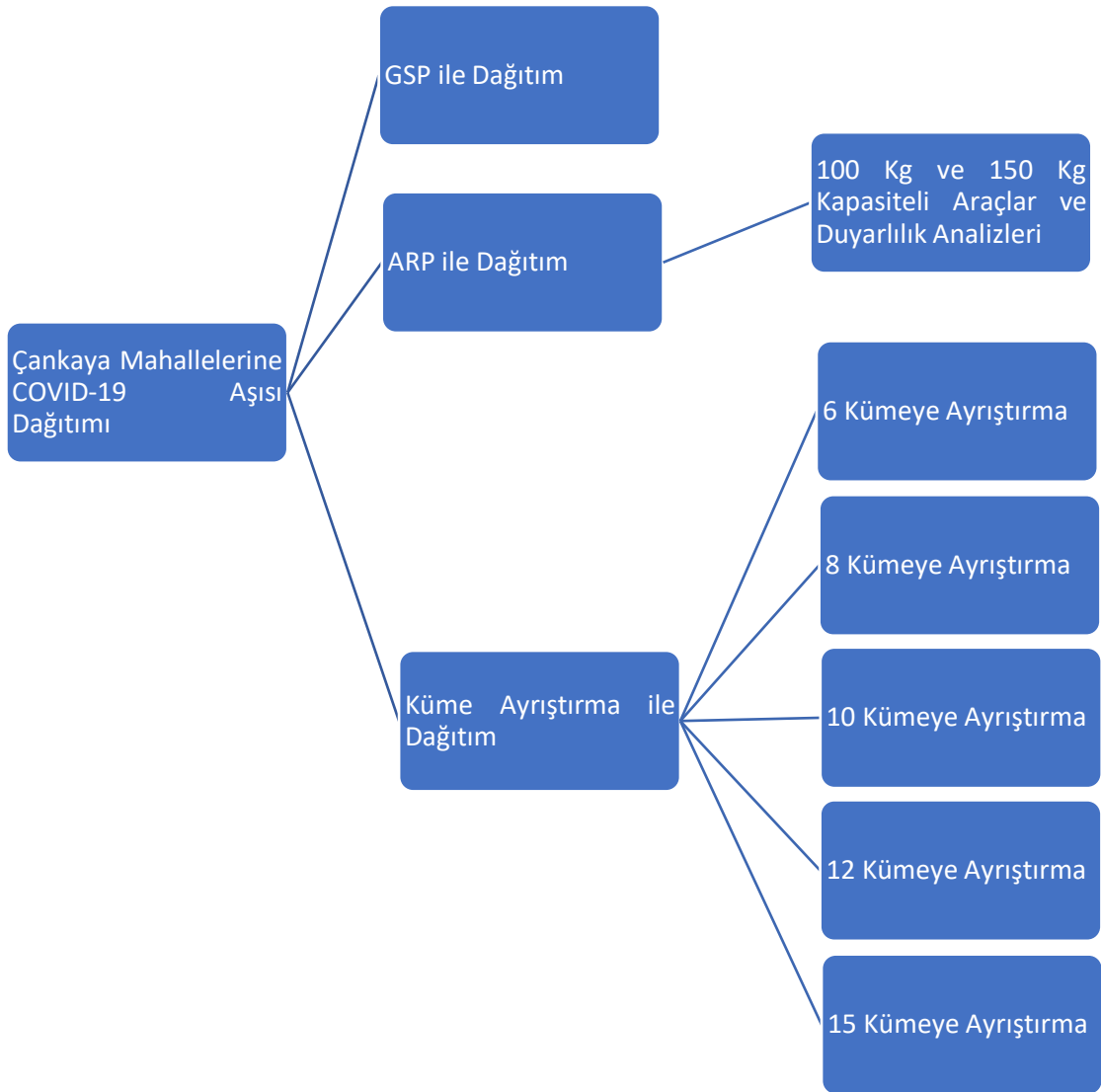
(1) Numaralı kısıt amaç fonksiyon kısıttır. Burada her i j noktaları arasındaki akışın uzaklıklarının toplamı minimize edilmeye çalışılmıştır.

- (2) Numaralı kısıt  $x_{ij}$  karar değişkeninin sadece 0 veya 1 değerini alabildiğini göstermektedir.  $i$  noktasından  $j$  noktasına doğru bir akış varsa  $x_{ij}$  1 değerini alır.  $i$ 'den  $j$ 'ye gidiş yoksa  $x_{ij}$  0'dır. Her  $i$  ve  $j$  değeri birbirinden farklıdır.
- (3) Numaralı kısıt, rotadaki tüm noktalardan sadece bir çıkış olduğunu ifade etmektedir.
- (4) Numaralı kısıt, rotadaki tüm noktalara sadece bir geliş olduğunu anlatmaktadır.
- (5) , (6) ve (7) Numaralı kısıtlar alt tur eleme kısıtlarıdır.
- (8) Numaralı kısıt  $u_i$ 'nin 0 veya 0'dan büyük bir tam sayı olduğunu gösteren kısıttır.

Yani (2) ve (3) numaralı kısıtlarda her noktaya bir geliş ve bir çıkış olduğu yani depodan çıkan bir aracın bütün düğümlere uğrayarak sonra da depoya dönmesi durumu sağlanmaktadır.

### **3. BÖLÜM: ANKARA’NIN ÇANKAYA İLÇESİNDEKİ MAHALLELERE COVID-19 AŞISI DAĞITIMI**

Tezin bu bölümünde anlatılan rotalama problemleri yardımıyla Ankara ilinin Çankaya ilçesindeki muhtarlıklar için bir aşı dağıtım planı yapılacaktır. Gezgin Satıcı Problemi, Araç Rotalama Problemi ve Küme Ayırıştırma ve Gezgin Satıcı Problemi yardımıyla oluşturulan rotalar karşılaştırılmıştır. Çankaya ilçesi için en uygun rotaya karar verilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Aşağıda çalışmanın 3. Bölümü için hazırlanan yol haritası verilmiştir (bknz. Şekil 2 Çankaya mahallelerine COVID-19 aşısı dağıtımı yol haritası).



Şekil 2. Çankaya mahallelerine COVID-19 aşısı dağıtım yol haritası

Yukarıdaki yol haritasında da görüldüğü gibi ARP çözerken farklı kapasiteli araçlar için 5 farklı senaryo çözülmüştür. Çıkan sonuçlar yararlanılan iyileştirme yöntemleri açısından ve araçların kapasiteleri açısından karşılaştırılmış ve sonuca etkileri gözlemlenmiştir. Bölümün son kısmında Küme Ayırıştırma Problemi çözülmüş ve bu problemde de kendi içinde 5 senaryo oluşturulmuştur. Farklı sayıda kümelere ayırıştırılarak oluşturulan bu senaryolar karşılaştırılmıştır.

Çankaya ilçesine bağlı 115 mahallenin muhtarlıkları dağıtım yapılacak noktalar olarak belirlenmişlerdir. Sağlık Bakanlığı burada aşılardan dağıtıma başlayacağı depo noktası olarak seçilmiştir. Çankaya ilçesine bağlı 9 köy problemlerden hariç tutulmuştur. Muhtarlıklara ait adres bilgisi Google Haritalar yardımıyla ve Çankaya Belediyesi web sitesi tarafından elde edilmiştir. Problemi çözerken Microsoft Office Excel SolverStudio kullanılmış, Gurobi optimizasyon çözücüsü ile Python yazılım dili kullanılmıştır. Yazılımın çalıştırıldığı bilgisayar, Windows 10 Pro, 64 bit İşletim Sistemli, Intel(R) Core(TM) i5-8300H CPU @ 2.30GHz 2.30 GHz işlemci ve 8GB RAM donanıma sahiptir.

### 3.1. GEZGİN SATICI PROBLEMİ İLE DAĞITIM

Bu bölümde Çankaya mahalleleri ve Sağlık Bakanlığı noktalarında Gezgin Satıcı Problemi çözülmüştür. MTZ Algoritması denenmiş çözüm çok uzun süre alınca Tembel Kısıtlardan yararlanılmıştır. GSP çalışmaya bir referans noktası olabilmesi için çözülmüştür. Bölümün sonunda ortaya çıkan rotanın grafiği verilmiştir.

Bu tezde Ankara'nın Çankaya ilçesi için aşı dağıtımında en iyi rotayı bulmada ilk uygulanan yöntem Gezgin Satıcı Problemi'dir. 268 km<sup>2</sup> alana sahip Çankaya ilçesi Ankara'nın en kalabalık ilçelerinden biridir. Kendisine bağlı 123 tane



mahalle ve köy bulunmaktadır. Bu çalışmada Çankaya'ya bağlı olan fakat merkeze uzaklıkları sebebiyle 8 köy muhtarlığı göz ardı edilmiştir.

Model oluşturulmadan önce Çankaya Belediyesi'ne bağlı mahalleler Çankaya Belediyesi web sitesinden bulunmuştur. Toplam 124 mahalleye ait adres bilgilerine ulaşılmıştır. Daha sonra Google Haritalar yardımıyla mahallelerin konumlarına ulaşılmıştır. Çankaya Mahalle Muhtarlıkları adı altında yeni bir harita oluşturulmuş ve mahalle muhtarlıklarına ait konum bilgisi koordinatlar olarak indirilmiştir. Elde edilen koordinatlar Microsoft Office Excel'e taşınmış 1'den 116'ye kadar numaralanmış ve ait oldukları mahallelerin isimleri yanlarına yazılmıştır.

116x116'lik bir matris oluşturulmuş karar değişkeni olarak belirlenmiştir. 1x116'lik  $u_i$  matrisi de satırın altına oluşturulmuştur. Yine 116x116'lik bir uzaklık matrisi oluşturulmuş, Öklid İki nokta arası mesafe formülü kullanılarak 115 mahallenin ve Sağlık Bakanlığı'nın birbirine olan uzaklıkları bulunmuştur. Bu işlem sırasında  $=\text{acos}(\sin(\text{lat1})*\sin(\text{lat2})+\cos(\text{lat1})*\cos(\text{lat2})*\cos(\text{lon2}-\text{lon1}))*6371$  formülü ile koordinat datası mesafe datasına çevrilmiştir. Öklid iki nokta arası mesafe formülü şu şekildedir:

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

Bunun için Google Haritalar'dan elde edilen x ve y koordinatları kullanılmıştır. Mesafeler her nokta için hesaplandıktan sonra Toplam Uzaklık hücresi eklenmiştir. Bu hücre problemin çözümünün yazacağı yerdir. Muhtarlıklar 1'den 116'ye kadar numaralanmışlardır.

Problemin taslağı oluşturulduktan sonra Veri kısmında Edit Data ile uzaklık parametreleri, karar değişkenleri ve indisler tanımlanmıştır. Bu yapılırken verilere isim verilmiş, Excel üzerinde hangi aralıkta oldukları bulunmuş ve hangi indislere bağlı olduğu belirtilmiştir.

Sonra SolverStudio'da Gurobi ile Python dilinde kodlama yapılmıştır. Modelin amaç fonksiyonu, kısıtları ve karar değişkenleri yazılmıştır. 100'ü aşkın noktası olan bu senaryoda GSP'nin çözülmesi saatler hatta günler alabildiği gözlenmiş ve yardımcı algoritmalarından yararlanılmaya karar verilmiştir. Bu yüzden tezde tembel kısıtlar kullanılmıştır. 18 tembel kısıt kullanılmıştır ve çözüm saniyeler içinde bulunmuştur. Problemin çözümünde karar değişkenleri matrisinde bulunan 1'ler o muhtarlığa gidildiğini göstermektedir.

Sağlık Bakanlığı'ndan başlayıp 115 noktayı dolaşıp tekrar Sağlık Bakanlığı'na dönen aracın kat ettiği toplam mesafe 113,40 km olarak hesaplanmıştır.

115 muhtarlığa ve Sağlık Bakanlığı'na ait koordinatlar, muhtarlıklara verilen numaralar ve ortaya çıkan rotadaki sıraları ile bir liste haline getirilmiştir. Sonra liste rotadaki sıralanışa göre tekrar sıralanmıştır. Depo olarak belirlenen Sağlık Bakanlığına ait bilgiler tablonun sonuna tekrar yazılmıştır. Tablonun yeni halinde koordinatlar seçilip bir çizgi grafiği oluşturulmuştur. Bu çizgi grafik rotanın haritasını gözler önüne sermektedir.

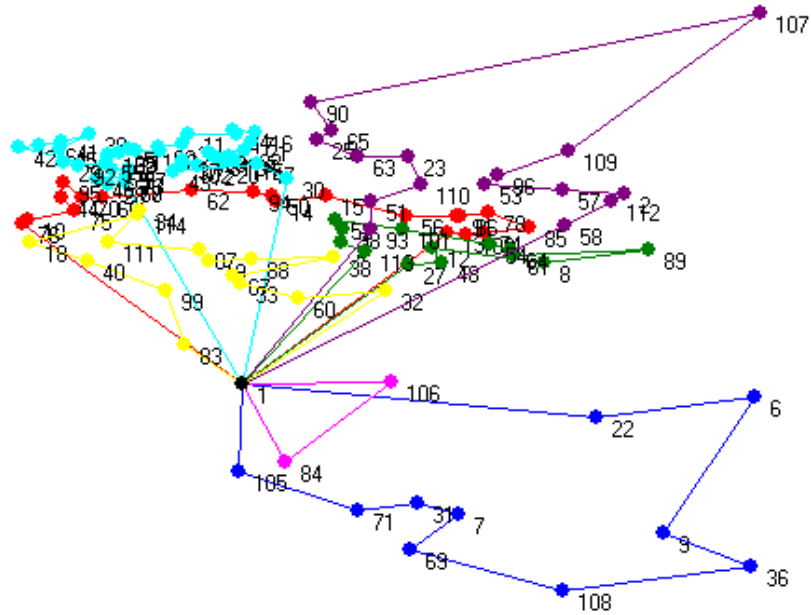


Problem oluşturulurken Çankaya Belediyesi'ne ait nüfus bilgileri kullanılmıştır. Nüfus talep olarak ele alınmıştır. Kişi başı tek doz aşı düştüğü varsayılmıştır. Toplam nüfus 2019 yılında 944.609 olarak kayıtlara geçmiştir. 2020 nüfus yılında %1,99 oranında azalarak 925.828 olarak kaydedilmiştir. Bu çalışmada 2019 nüfus bilgisinden yararlanılmıştır.

Kapasite Kısıtlı ARP olarak oluşturulan modelde, araç kapasiteleri 100.000 gram yani 100 kg varsayılmıştır. Ayrıca araç kapasitelerinin artırılmasının rota sayısını ve mesafeyi nasıl etkilediğini görmek için problem bir de 150.000 kapasiteli araçlarla çözülmüştür. Bir doz aşının ağırlığı 1 gram olarak düşünülmüştür. Mesafe kısıtı göz ardı edilebilmesi için Solver'da ilgili yere çok büyük bir sayı yazılmıştır.

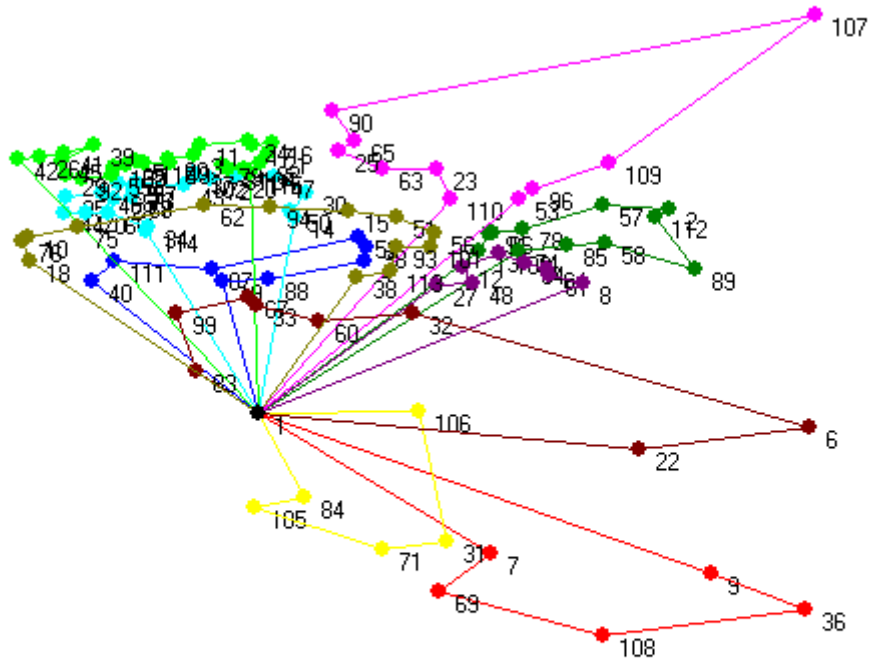
VRP Solver'a uzaklık verilerini taşıırken not defterine muhtarlıklara ait koordinatların ve talep bilgilerinin girilmesi gerekmektedir. Bir muhtarlığa ait y koordinatı, x koordinatı ve talep arada boşluklarla yazılır ve bu bütün diğer noktalar için aynısı yapılarak liste tamamlanır. Sağlık Bakanlığı'nın talep kısmı boş bırakılır. VRP Solver'a bu liste yüklenir, Solver mesafe matrisini kendi oluşturmaktadır. İstenirse farklı formüller ve yaklaşımlarla da mesafe matrisini oluşturma seçenekleri de vardır. Bu tezde GSP'de oluşturduğumuz mesafe matrisi VRP Solver'a yüklenerek çözülmüştür. 100 kg ve 150 kg kapasiteli iki araç için 5 farklı senaryo çözümlenerek duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu senaryolarda klasik CW, swap, 2 op ve or op iyileştirmeler farklı değerlerle denenmiştir. Böylece en iyi sonucu bulmada iyileştirmelerin etkisi gözlemlenmiş ve en kısa mesafe katedilerek Çankaya ilçesinin bütün mahallelerine dağıtım yapan rotalar bulunmuştur. Aşağıdaki bölümde 100 kg araçlarla dağıtımın yapıldığı senaryo ve duyarlılık analizi verilmiştir.





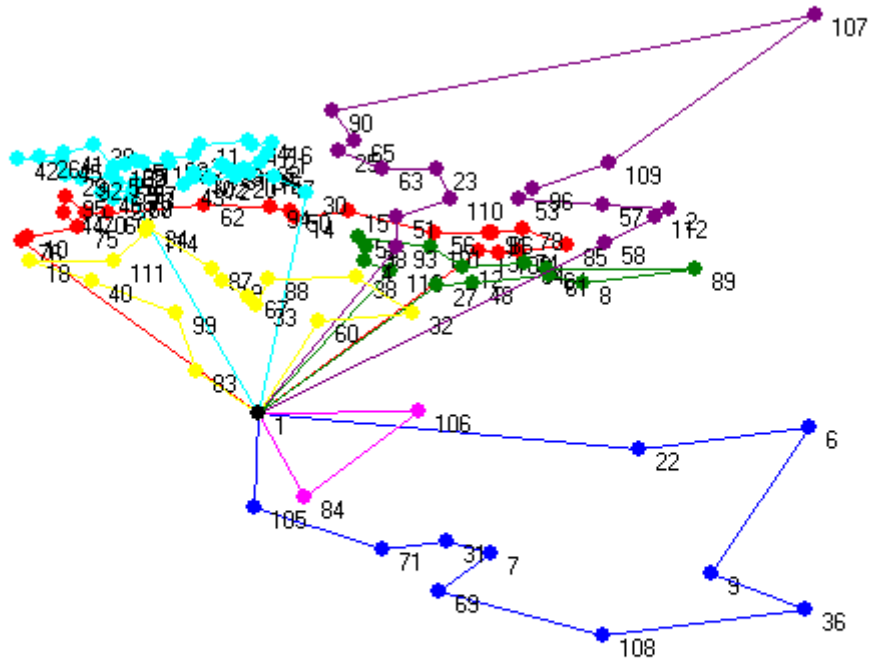
Şekil 5. 150 kapasite ile çözülen 1.senaryo rota grafiği

İkinci senaryoda rassallaşmada derinlik ve iterasyon birinci senaryodaki gibi 1 alınmış ama iyileştirmelerden yararlanılmıştır. Swap, 2-opt ve Or opt iyileştirmelerinin yapıldığı bu senaryoda çözüm 0,10 saniyede bulunmuştur. Rota sayısı yine 10 olmuşken, toplam mesafe 243,17 olarak hesaplanmıştır. Toplam mesafesi 2,49 km kısalan bu çözümde 3 kere swap, 1 kere 2-opt ve 8 or-opt uygulanmıştır.



Şekil 6. 100 kapasite ile çözülen 2.senaryo rota grafiği

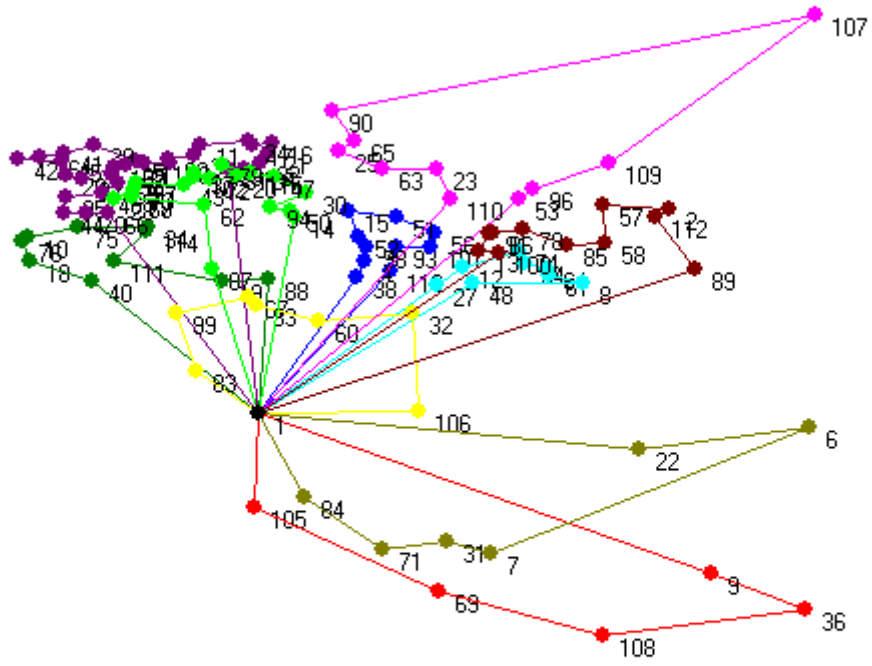
Problem 150 kapasiteli araçlarla tekrar çözüldüğünde 7 aracın kat ettiği toplam mesafe 190,99 düşmüştür. 0,15 saniye süren çözümde 1 kere swap, 16 kere or-opt uygulanmıştır. 1. Senaryoya göre 3,45 km kısalmıştır ve 100 kg kapasiteli araçlı çözüme nazaran 52,18 km daha iyi bir çözümdür. 1. Senaryo ve 2. Senaryodaki 150 kapasiteli araçlara yönelik çözüm grafikleri incelendiğinde rotalarda ufak değişiklikler görülebilmektedir.



Şekil 7. 150 kapasite ile çözülen 2.senaryo rota grafiği

Bu senaryoda rassallıştırmada derinlik ve iterasyon 3 yapılmış ve iyileştirmelerden yararlanılmıştır. Çözümde 0,94 saniyede ulaşılmış ve toplam mesafe 8,11 km azalarak 237,55 olarak bulunmuştur. 10 rota oluşmuştur. Modelin kurulması 0,02 saniye sürerken, iyileştirmesi 0,92 saniye sürmüştür. İyileştirmeler arttıka çözüm süresi artmaktadır. 21 kere swap, 8 kere 2-opt ve 104 kere or-opt uygulanmıştır.

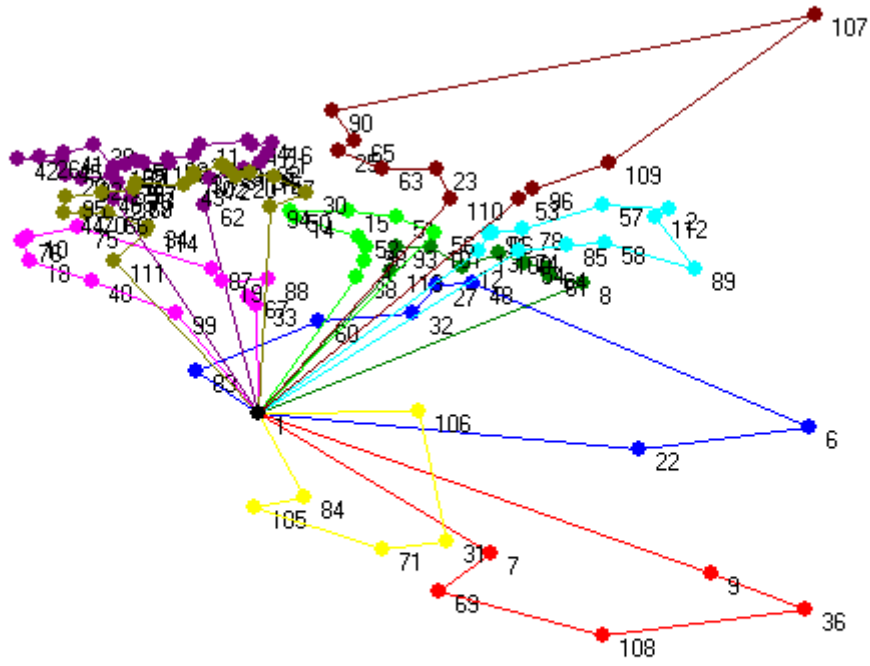




Şekil 8. 100 kapasite ile çözülen 3. senaryo rota grafiği

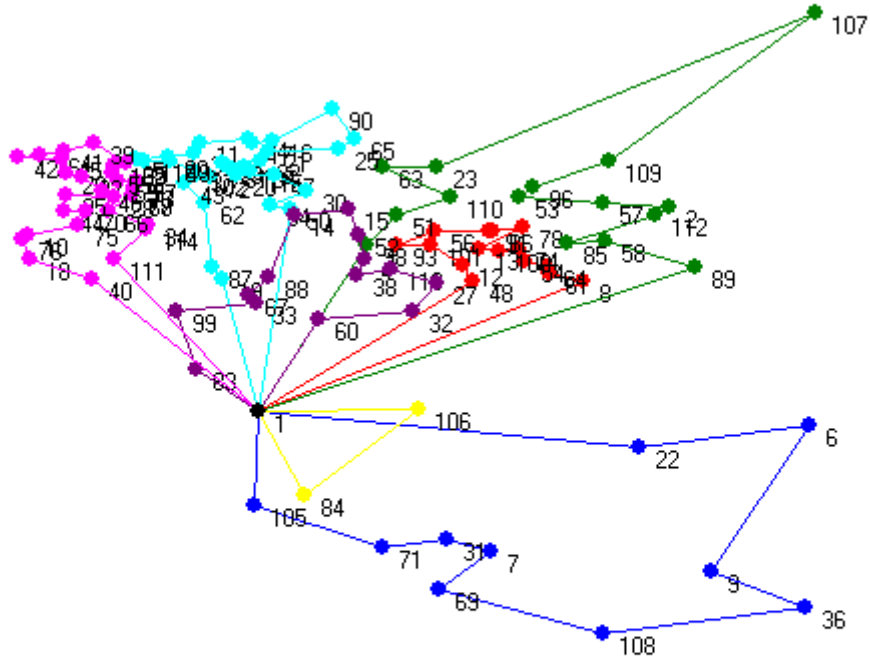
150 kapasiteli araçlarla çözülen 3. Senaryoda 7 rota planlanmış, toplam mesafe 189,40 km olarak hesaplanmıştır. 0,92 saniyede ulaşılan çözümde, model 0,02 saniyede hazırlanmış, iyileştirmeler ise 0,90 saniye sürmüştür. 11 kere swap yapılmış, 2 kere 2-opt ve 104 kere or-opt uygulanmıştır. 1. Senaryoya göre 5,04 km daha iyi bir sonuç elde edilmiştir.





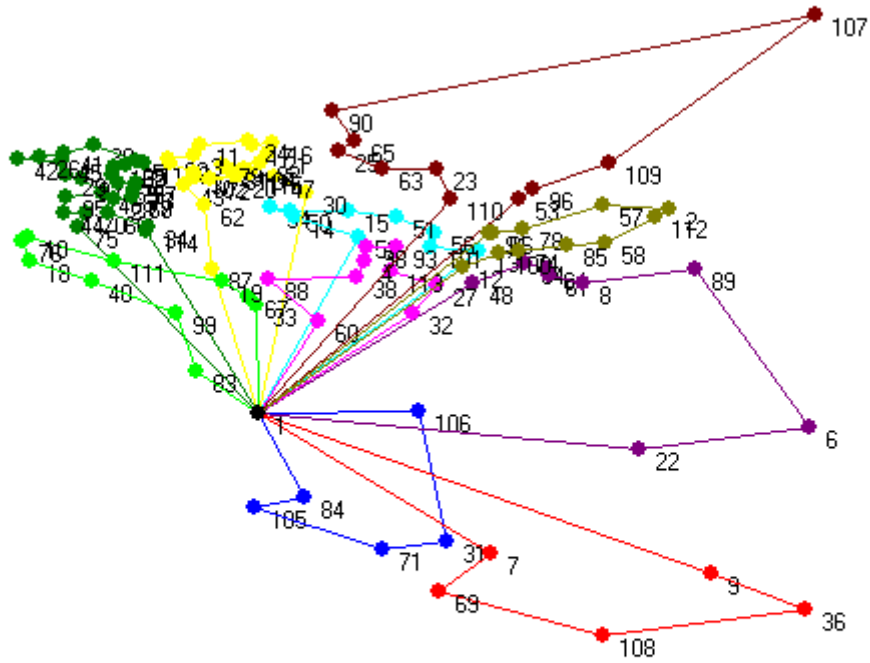
Şekil 10. 100 kapasite ile çözülen 4. senaryo rota grafiği

150 kapasiteli araçlarla modellenen 4. Senaryoda toplam mesafe 185,85 km olarak hesaplanmıştır. Çözüm 3,19 saniye sürmüştür. Bir önceki senaryoya göre 2,27 saniye daha uzun sürmüştür. Modelin yazılması 0,05 saniye, iyileştirmesi ise 3,14 saniyeyi bulmuştur. 48 kere swap, 20 2-opt ve 362 or-opt yapılmıştır.



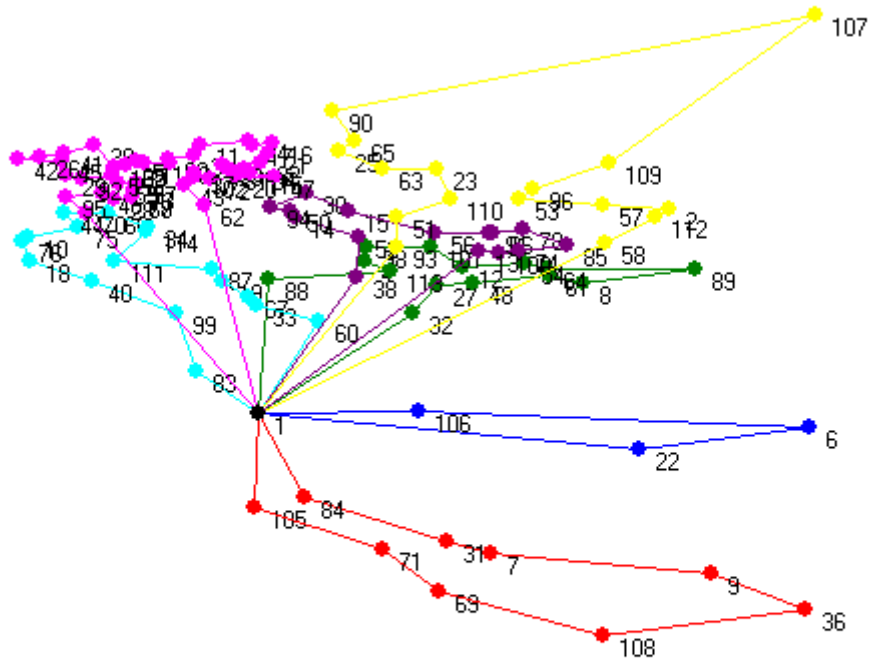
Şekil 11. 150 kapasite ile çözülen 4.senaryo rota grafiği

Beşinci senaryoda rassallaşma derinliği 6, iterasyon 10 olarak belirlenmiştir. Diğer iyileştirmelerden de yararlanılmıştır. Toplam mesafe 235,45 km olmuştur, bu birinci senaryodan 10,21 km daha iyi bir sonuçtur. Çözüm 9,59 saniyede bulunmuştur. Bunun 0,11 saniyesi modelin oluşması, 9,47 saniye ise iyileştirmelerin yapılmasıdır. Bu süre içerisinde toplam 1377 iyileştirme yapılmıştır. Bunların 160'ı swap, 24'ü 2-opt ve 1193'ü ise or-opt iyileştirmelerdir.



Şekil 12. 100 kapasite ile çözülen 5.senaryo rota grafiği

Bu senaryo 150 kapasiteli araçlarla çözüldüğünde ise toplam mesafe 186,18 km olarak bulunmuştur. Çözüm süresi ise 9,19 saniye sürmüştür. 0,12 saniye modelin oluşturulması, 9,07 saniye ise iyileştirmelerin yapıldığı süredir. Toplam 1328 iyileştirme yapılmıştır. Bunlar 147 swap, 40 2-opt ve 1141 or-opttir.



Şekil 13. 150 kapasite ile çözülen 5. senaryo rota grafiği

### 3.3. KÜME AYRIŞTIRMA VE GEZGİN SATICI PROBLEMİ İLE DAĞITIM

Bu tezde değerlendirilen üçüncü problem Küme Ayrıştırma ve Gezgin Satıcı Problemi'dir. Bu problemde Çankaya Belediyesi'ne ait mahalle muhtarlıkları kendi içlerinde yakınlıklarına göre kümeler ayrılıp sonra bu kümeler içinde GSP'ler çözülsünce mesafeden ne kadar kazanılır sorusu üzerine gidilmiştir. Buna göre her küme bir noktadan başlayıp birer araçla bütün noktalar dolaşıldıktan sonra aynı noktaya dönecek şekilde rotalamalar oluşturulmuştur.

Çalışmada mahalleleri 6, 8, 10, 12 ve 15 alt kümeye ayrıştırılarak her birinde GSP çözülmüştür. Böylece küme sayısının artmasının katedilen toplam minimum mesafeye olan etkisi gözlemlenmiştir. Aynı zamanda da artan küme sayısının birbirine yakın olan mahalleleri birbirleriyle aynı grupta olmaya ittiğini göstermiştir.

### **3.3.1. Çankaya Mahallelerini 6 Kümeye Ayrıştırma ve Gezgin Satıcı Problemi ile Dağıtım**

Küme Ayrıştırma ve Gezgin Satıcı Problemi iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada muhtarlıklar 6 gruba ayrılmışlardır. Her muhtarlık sadece bir kümeye dahildir ve dışarıda muhtarlık kalmamıştır. Küme ayrıştırma yapılırken 2019 Çankaya Belediyesi nüfus verisinden yararlanılmıştır. Her kümede maksimum nüfus 160.000 kişiyi aşmayacak şekilde ayarlanan problemde, kümelere yerleştirilecek muhtarlık sayısına bir sınır getirilmemiştir.

Bu problemde de Çankaya Belediyesi'ne bağlı mahalle muhtarlıklarının koordinat bilgilerinden yararlanarak Öklid İki Nokta Arası Mesafe formülü yardımıyla 116x116 bir mesafeler matrisi oluşturulmuştur. Bunun yanı sıra bir de 116x116 karar değişkeni matrisi de vardır. Problem Microsoft Office Excel üzerinde meydana getirilirken, hangi bölgelerin bölge merkezi olduğunu gösteren bir 1\*116 matris ve bulunan kümelerde kaç tane nokta olduğunu hesaplayan 1\*116 bir matris oluşturulur. Bölge merkezleri sayısı ortaya çıkacak küme sayısına eşit olmalıdır.

Problemin çözümü sonucunda toplam mesafe 184,22 olarak hesaplanmıştır. Her muhtarlığın mutlaka ve sadece bir kümeye dahil olduğu çözümde, bölge merkezleri; Ahmet Taner Kışlalı Mahallesi Muhtarlığı, İncesu Mahallesi Muhtarlığı, Kızılırmak Mahallesi Muhtarlığı, Murat Mahallesi Muhtarlığı, Mürsel

Uluç Mahallesi Muhtarlığı ve Şehit Cevdet Özdemir Mahallesi Muhtarlığı olduğu saptanmıştır. Aşağıdaki tabloda bu kümelere yerleştirilen muhtarlıkların sayısı verilmiştir.

Alt Kümeler	Muhtarlık Sayıları
Ahmet Taner Kışlalı Kümesi	10
İncesu Kümesi	35
Kızılırmak Kümesi	14
Murat Kümesi	24
Mürsel Uluç Kümesi	17
Şehit Cevdet Özdemir Kümesi	16

Tablo 5. Kümelerdeki muhtarlık sayısı

Problemin çözümünde karar değişkeni matrisinin üstünde bulunan satırda bölge merkezleri gösterilmektedir.  $y_j$  karar değişkeni satırı olan bu satırda sadece bölge merkezi olan muhtarlıklar 1 değerini almıştır. Altında yer alan  $x_{ij}$  karar değişkenleri matrisinde bulunan 1'ler muhtarlıkların yerleştirildikleri kümeleri göstermektedir. Bu matris ile bölge merkezlerini gösteren satır birlikte bakıldığında sadece bölge merkezleri satırında 1 değeri almış muhtarlıkların hizasında o kümeye ait olan muhtarlıkların 1 değerini aldıkları görülebilir. Bu demektir ki bölge merkezi olmayan muhtarlıklara ait sütunlarda hiç 1 değeri bulunmamaktadır. Karar değişkeni matrisinin altında bulunan satırda o kümede kaç tane muhtarlığın bulunduğunu gösteren bir formül yazılmıştır. Çözüm soldan sağa incelendiğinde ise bütün muhtarlıkların sadece bir kere 1 değerini aldıkları görülmektedir. Bu bütün muhtarlıkların mutlaka ve sadece bir kümeye ait olduklarını göstermektedir.

Muhtarlıkları kümelere ayırıştırıp birinci aşamayı tamamlayınca kümeler içinde Gezgin Satıcı Problemi çözülecek ikinci aşamaya geçilir. İkinci aşamada amaç, bütün gruplarda tek tek Gezgin Satıcı Problemi çözerek ve hesaplanan toplam



mesafeleri toplayarak, gruplara ayırıp dağıtım yapılırsa daha iyi bir sonuca ulaşılabilir miydi sorusuna cevap bulmaktır.

Önce oluşturulan gruplardaki muhtarlıkların birbirlerine ait mesafe matrisi oluşturulmalıdır. Muhtarlıkların birbirine olan uzaklıklarını tek tek bulup yeni bir uzaklık matrisi oluşturmak yerine küme ayrıştırma problemi çözülürken kullanılan uzaklık matrisinden yararlanılarak yeni uzaklık matrisleri elde edilebilmektedir. Bu kısa yolu uygularken önce muhtarlıkların hangi bölge merkezine ait grupta olduğunu gösteren bir liste hazırlanır. Bu liste uzaklık matrisinin üst satırına ve baş sütununa kopyalanır. Daha sonra uzaklık matrisi önce sadece uzaklıkları ve baştaki grup numaralarının olduğu liste ile muhtarlıkların kendi numaralarını kapsayacak şekilde seçilir ve grup numaralarına göre sıralama yapılır. Sonra bu işlem dikey olarak uygulanır. Böylece bütün uzaklık matrisi ayrıştırılan kümelere göre sıralanmış olur. Kümelere ait uzaklık matrisleri buradan kolayca alınabilmektedir.

İlk alt kümenin bölge merkezi Ahmet Hamdi Tanpınar muhtarlığıdır. Bu kümede toplam 10 muhtarlık vardır. 10 muhtarlığı kapsayan en az mesafeli rotayı bulmak için Gezgin Satıcı Problemi çözülmüş, MTZ Algoritmasından yararlanılmıştır. Bunun sonucunda toplam mesafe 25,11 km bulunmuştur.

İncesu mahallesi muhtarlığı ikinci alt kümenin bölge merkezi olarak ilk aşamada bulunmuştur. Bu alt kümede toplam 35 muhtarlık vardır. Bu 35 muhtarlığa ait uzaklık matrisi ilk aşamada oluşturulan matristen alınıp Gezgin Satıcı Problemi çözüldüğünde toplam mesafe 19,08 km olarak hesaplanmıştır. Çözümde MTZ Algoritmasından yararlanılmıştır.

14 muhtarlığın bulunduğu üçüncü alt kümenin bölge merkezi Kızılırmak mahallesi muhtarlığıdır. MTZ Algoritması yardımıyla çözülen Gezgin Satıcı Problemi sonucunda toplam mesafe 21,65 km bulunmuştur.

Dördüncü alt kümede toplam 24 muhtarlık vardır. 15,53 km bulunan toplam mesafeli rotanın bölge merkezi Murat Mahallesi muhtarlığıdır. Muhtarlıklara ait koordinatlar ve sıra numaraları listelenip çizgi grafiği çıkarılmıştır.

Beşinci alt kümede 17 muhtarlık vardır ve toplam mesafe 39,65 km olarak hesaplanmıştır. Mürsel Uluç Mahallesi muhtarlığı rotanın bölge merkezidir. Rotadaki muhtarlıkların koordinatları ve sıra numaralarıyla oluşturulan çizgi grafik rotanın haritasını göstermektedir.

Son olarak altıncı alt kümede 16 muhtarlık vardır ve toplam mesafe 10,57 km olarak bulunmuştur. Metin Oktay Mahallesi muhtarlığı bölge merkezidir. Muhtarlıklara ait koordinatlarla oluşturulan çizgi grafik rotanın haritasını yansıtmaktadır.

Böylece bu 116 nokta 6 alt kümeye ayrıştırılmış ve ayrı ayrı rotalandırılmıştır. Bu rotaların Gezgin Satıcı Problemi ile minimum toplam mesafeleri hesaplanmıştır. Aşağıda alt kümeler ve toplam minimum mesafeleri tablo olarak verilmişlerdir. Ayrıca bütün bu hesaplamalar sonucunda küme ayrıştırma ile ortaya çıkan toplam minimum mesafe yani alt kümelerin toplam minimum mesafeleri de yine aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

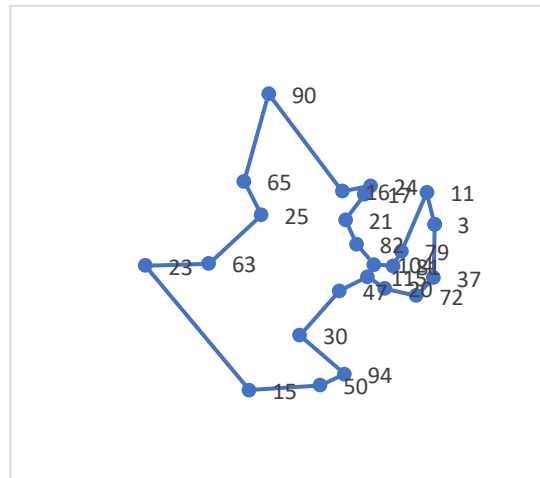
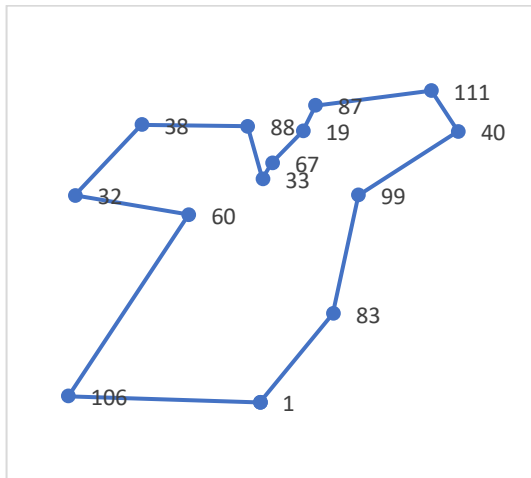
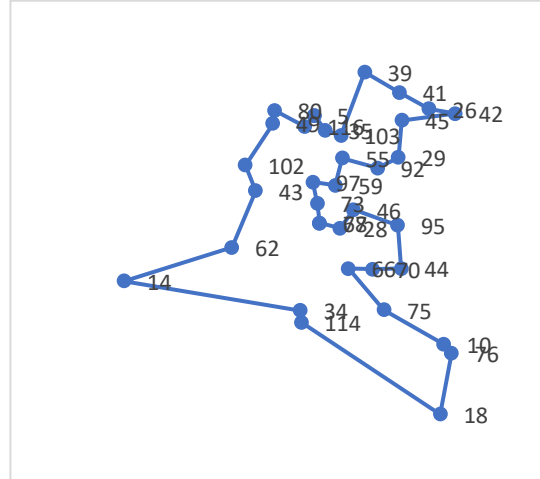
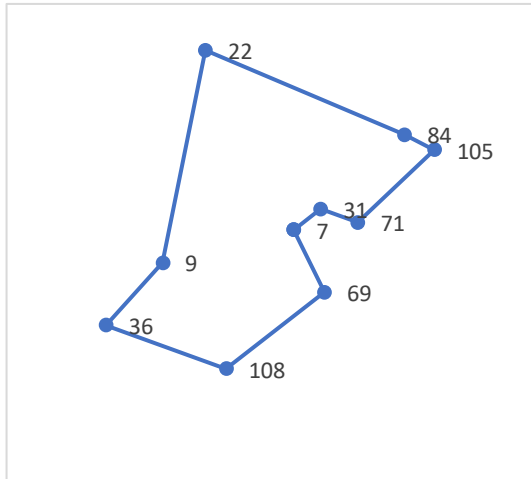
Alt Kümeler	Minimum Toplam Mesafe (km)
Ahmet Taner Kışlalı	25,11

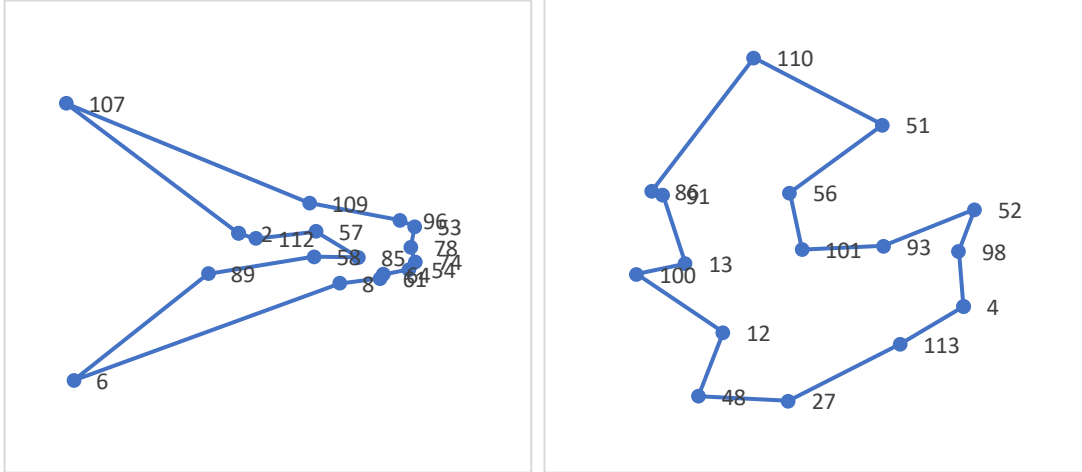
İncesu	19,08
Kızılırmak	21,65
Murat	15,53
Mürsel Uluç	39,65
Şehit Cevdet Özdemir	10,57
Toplam	131,60

Tablo 6. Alt kümelere ait toplam mesafeler tablosu

Aşağıda rotalara ait çizgi grafikler verilmiştir.

Şekil 14. 6 Alt kümeye ait rota grafikleri





### 3.3.2. Çankaya Muhtarlıklarını 8 Kümeye Ayırıştırma ve Gezgin Satıcı Problemi ile Dağıtım

Bu bölümde Çankaya Mahalleleri 8 alt kümeye ayrıştırılmış ve alt kümeler içinde GSP çözülmüştür. Önceki grupta izlenen aşamalar izlenmiş ve grup sayısı 8 olarak seçilmiştir. Böylece problemin sonucu 156,67 km olarak bulunmuştur. Aşağıdaki tabloda bulunan bölge merkezleri ve bu bölgelere yerleştirilen muhtarlıkların sayısı verilmiştir.

Alt Kümeler	Muhtarlık Sayıları
Ahmet Taner Kışlalı	10
Çukurambar	11
Huzur	16
İleri	22
Maltepe	11
Öveçler	12
Sancak	9
Umut	25

Tablo 7. 8 Kümedeki muhtarlık sayısı

Tablodan anlaşıldığı gibi alt kümelerdeki muhtarlık sayısı çoğunlukla 10-12 arasında değişmektedir. En büyük alt küme 25 alt kümeye sahip Umut muhtarlığı grubudur. En küçük alt küme ise 9 mahalle muhtarlığına sahip Sancak grubudur.

Bu alt kümelerde önceki grupta olduğu gibi GSP çözülmüş ve bulunan sonuçlar aşağıdaki alt kümelere ait minimum toplam mesafe tablosunda gösterilmiştir.

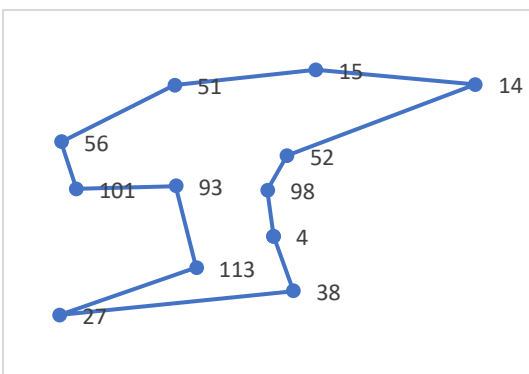
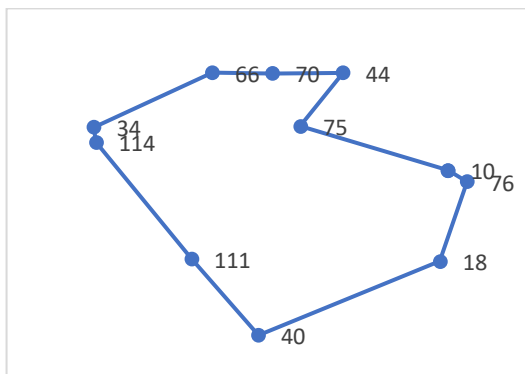
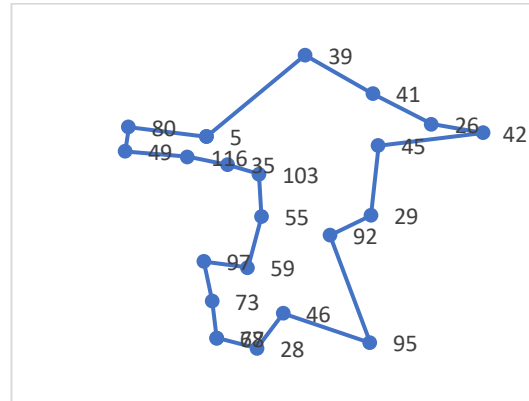
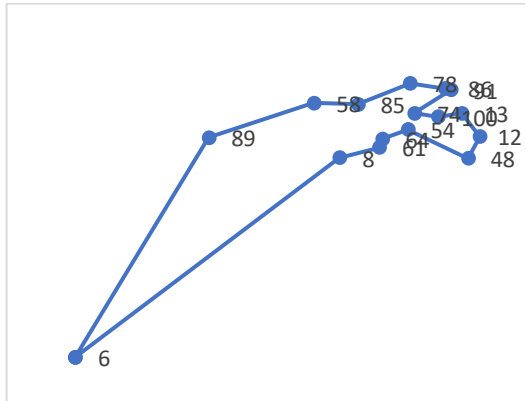
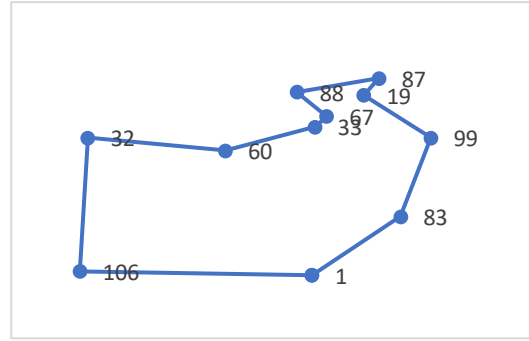
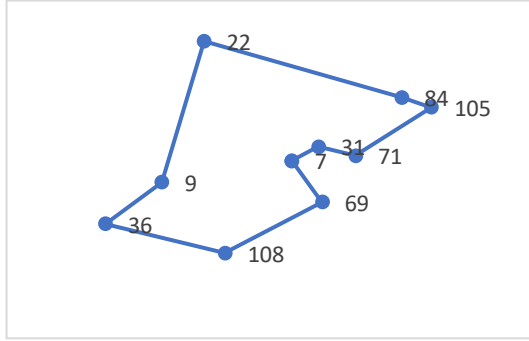
Alt Kümeler	Minimum Toplam Mesafe (km)
Ahmet Taner Kışlalı	25,11
Çukurambar	17,35
Huzur	22,40
İleri	8,53
Maltepe	7,52
Öveçler	9,38
Sancak	22,31
Umut	14,72
Toplam	127,32

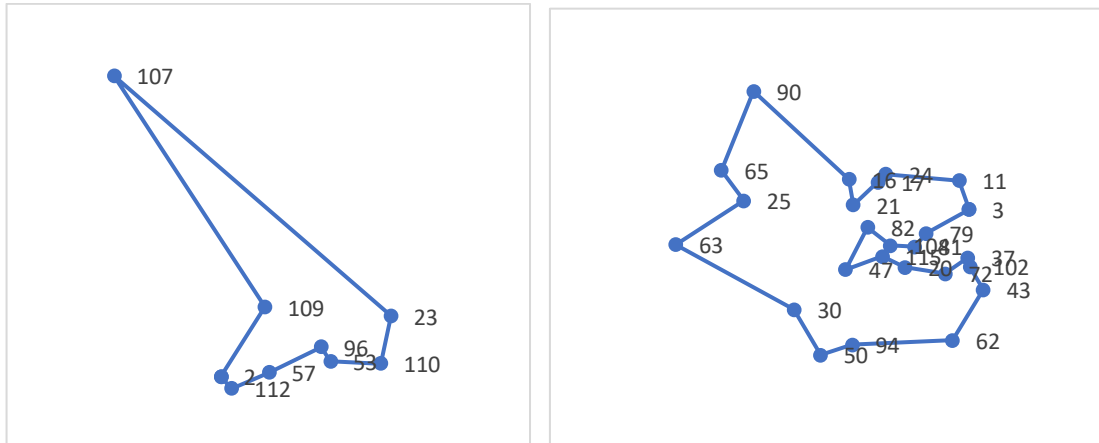
Tablo 8. Alt kümelere ait toplam mesafeler tablosu

Rotalar arasında en kısa mesafe Maltepe bölge merkezli gruba aittir. Bu alt kümede 11 muhtarlık vardır ve toplam mesafe 7,52 olarak bulunmuştur. En uzun mesafe ise Ahmet Taner Kışlalı mahallesi muhtarlığı merkez olan alt kümeye aittir ve toplam mesafe 25,11 olarak hesaplanmıştır. Bu alt kümede 10 muhtarlık yer almaktadır. Burada 25 muhtarlığa sahip Umut mahallesi muhtarlığı merkezli alt kümenin en uzun mesafe gösteren alt küme olmaması dikkat çekmektedir. Aynı şekilde sadece 9 muhtarlığa sahip Sancak merkezli alt küme ise en kısa mesafeye sahip olan alt küme değildir. Alt kümelerin toplam

mesafeleri 127,32 km olarak hesaplanmıştır. Aşağıda bu ayrılan 8 alt kümede GSP çözüldükten sonra oluşan rotaların grafikleri verilmiştir.

Şekil 15. 8 Alt kümeye ait rota grafikleri





### 3.3.3. Çankaya Muhtarlıklarını 10 Kümeye Ayrıştırma ve Gezgin Satıcı Problemi ile Dağıtım

Bu bölümde Çankaya mahalleleri muhtarlıkları 10 alt kümeye ayrıştırılmış ve bu alt kümeler kendi içlerinde GSP çözülmüştür. İlk grupta izlenen aşamalar izlenmiş ve grup sayısı ise bu sefer 10 olarak değiştirilmiştir. Böylece problemin sonucu 135,74 km olarak bulunmuştur. Bölünecek küme sayısı arttıkça bulunan sonucun azaldığı görülmektedir. Aşağıdaki tabloda bulunan bölge merkezleri ve bu bölgelere yerleştirilen muhtarlıkların sayısı verilmiştir.

Alt Kümeler	Muhtarlık Sayıları
Alacaatlı	3
Beytepe	3
Çukurambar	10
İleri	22
Koru	6
Malazgirt	15
Maltepe	11
Öveçler	12
Sancak	9
Umut	25

Tablo 9. 10 Kümedeki muhtarlık sayısı

Tabloda da görüldüğü gibi alt kümelerdeki muhtarlık sayısı değişiklik göstermektedir. Burada da en büyük alt küme 25 alt kümeye sahip Umut muhtarlığı grubudur. En küçük alt küme ise 3 mahalle muhtarlığına sahip Alacaatlı ve Beytepe gruplarıdır. Bu daha fazla kümeye ayırıştırmanın en büyük alt kümelerin muhtarlık sayısı açısından etkilemediği sonucuna varılabilir.

Yeni oluşturulan 10 alt kümede ilk grupta olduğu gibi GSP çözülmüş ve bulunan sonuçlar aşağıdaki alt kümelere ait minimum toplam mesafe tablosunda gösterilmiştir.

Alt Kümeler	Minimum Toplam Mesafe (km)
Alacaatlı	8,02
Beytepe	11,52
Çukurambar	15,75
İleri	8,53

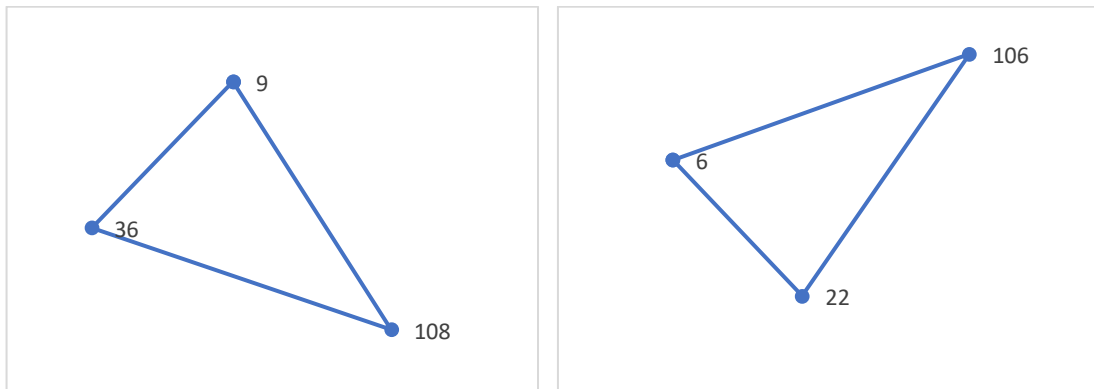


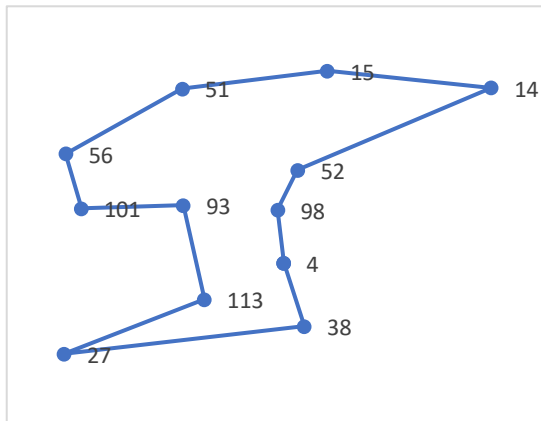
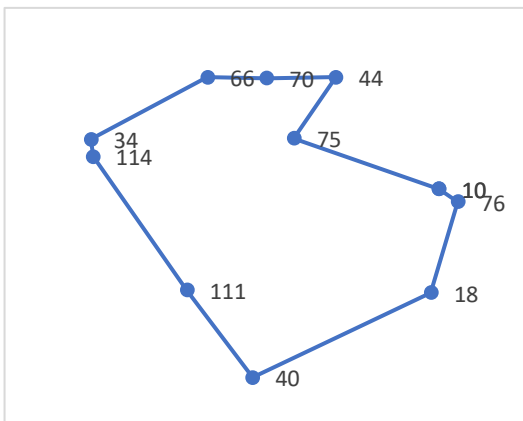
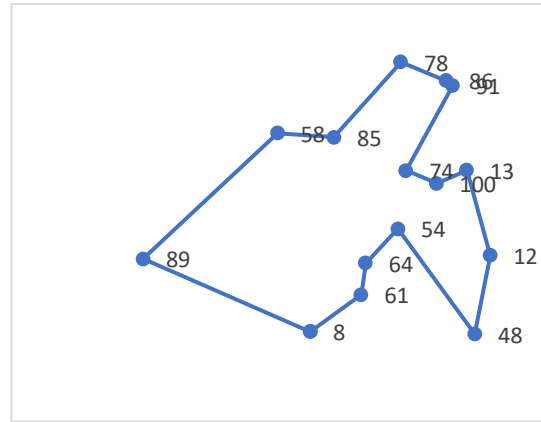
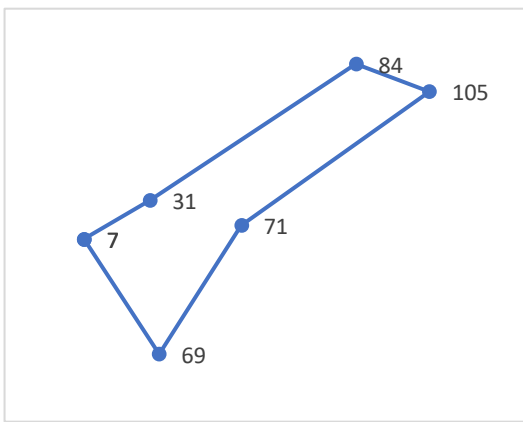
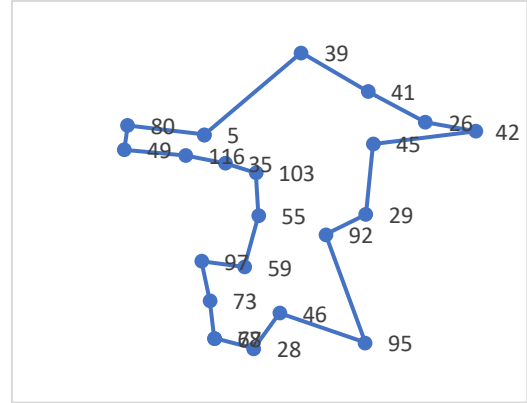
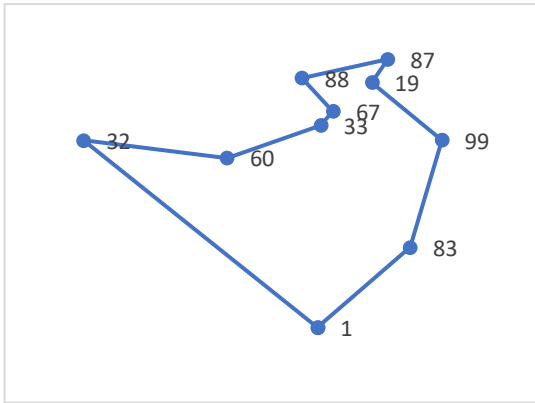
Koru	10,35
Malazgirt	10,48
Maltepe	7,52
Öveçler	9,38
Sancak	22,31
Umut	14,72
Toplam	118,59

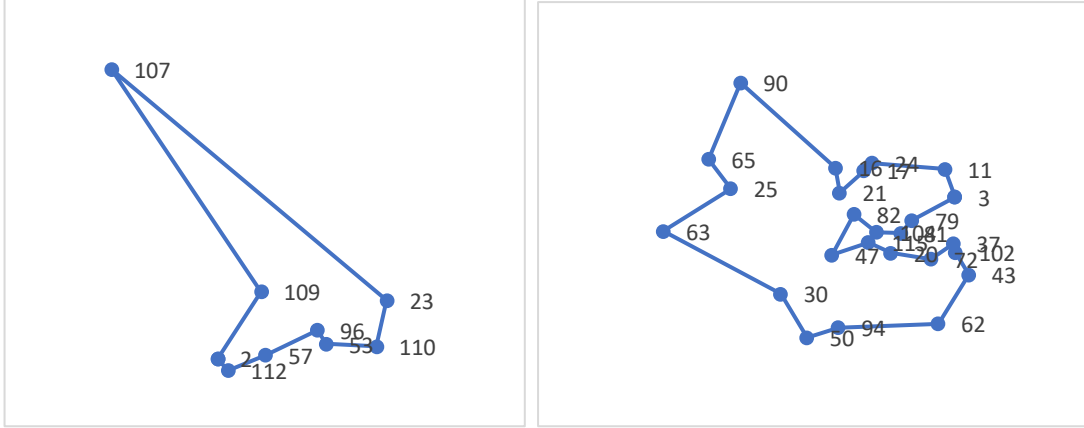
Tablo 10. Alt kümelere ait toplam mesafeler tablosu

Yukarıda da görüldüğü gibi alt kümeler arasında en kısa mesafe 8 alt kümeli çözümden olduğu gibi yine Maltepe bölge merkezli gruba aittir. Bu alt kümede 11 muhtarlık vardır ve toplam mesafe 7,52 olarak bulunmuştur. Muhtarlık sayısı ve mesafenin değişmediği gözlemlenmiştir. En uzun mesafe ise Sancak mahallesi muhtarlığı merkez olan alt kümeye aittir. Bu alt kümede 9 muhtarlık yer almaktadır. Burada 25 muhtarlığa sahip Umut mahallesi muhtarlığı merkezli alt kümenin en uzun mesafe gösteren alt küme olmaması dikkat çekmektedir. Aynı şekilde sadece 3 muhtarlığa sahip Alacaatlı ve Beytepe merkezli alt kümeler de en kısa mesafeye sahip olan alt kümeler değildir. Alt kümelerin toplam mesafeleri 118,59 km olarak hesaplanmıştır. Aşağıda bu oluşturulan 10 alt kümede GSP çözüldükten sonra oluşan rotaların grafikleri verilmiştir.

Şekil 16. 10 Alt kümeye ait rota grafikleri







### 3.3.4. Çankaya Muhtarlıklarını 12 Kümeye Ayrıştırma ve Gezgin Satıcı Problemi ile Dağıtım

Bu kısımda Çankaya mahalleleri muhtarlıkları 12 alt kümeye ayrıştırılmış ve bu alt kümeler kendi içlerinde GSP çözülmüştür. İlk grupta izlenen aşamalar izlenmiş ve grup sayısı ise şimdi de 12 olarak değiştirilerek alt kümelerdeki değişimler gözlemlenmiştir. Problemin sonucu 120,36 km olarak bulunmuştur. Bölünecek küme sayısı arttıkça bulunan sonucun azaldığı görülmektedir. Problemin çözümünde 11 alt küme oluşmuştur ve 10 alt kümeli grupta olduğu gibi şimdi de Yakupabdal muhtarlığı diğer alt kümelerden ayrılarak tek elemanlı bir küme haline gelmiştir. Diğer bir deyişle Sağlık Bakanlığı'ndan Yakupabdal mahallesi muhtarlığına giden ve dönen bir rota oluşturulmuştur. Aşağıdaki tabloda bulunan bölge merkezleri ve bu bölgelere yerleştirilen muhtarlıkların sayısı verilmiştir.

Alt Kümeler	Muhtarlık Sayıları
Sağlık Bakanlığı	3
Ahlatlıbel	2
Alacaatlı	3
İleri	22
Kızılırmak	9

Koru	6
Malazgirt	15
Maltepe	10
Öveçler	12
Sancak	8
Umut	25
Yakupabdal	1

Tablo 11. 12 Kümedeki muhtarlık sayısı

Tabloda da görüldüğü gibi alt kümelerdeki muhtarlık sayısı küçülmektedir. Burada da en büyük alt küme 25 alt kümeye sahip Umut muhtarlığı grubudur. Umut muhtarlığı ve alt kümedeki diğer muhtarlıklar arasındaki mesafe kısa olduğu için alt küme sayısı ne kadar artırılırsa artırılsın bu küme küçülmemektedir. En küçük alt küme ise 2 mahalle muhtarlığına sahip Ahlatlıbel grubudur. Yakupabdal muhtarlığına bir rota oluşturulmamış ve değerlendirmenin dışında tutulmuştur.

Yeni oluşturulan 12 alt kümede ilk grupta olduğu gibi GSP çözülmüş ve bulunan sonuçlar aşağıdaki alt kümelere ait minimum toplam mesafe tablosunda gösterilmiştir.

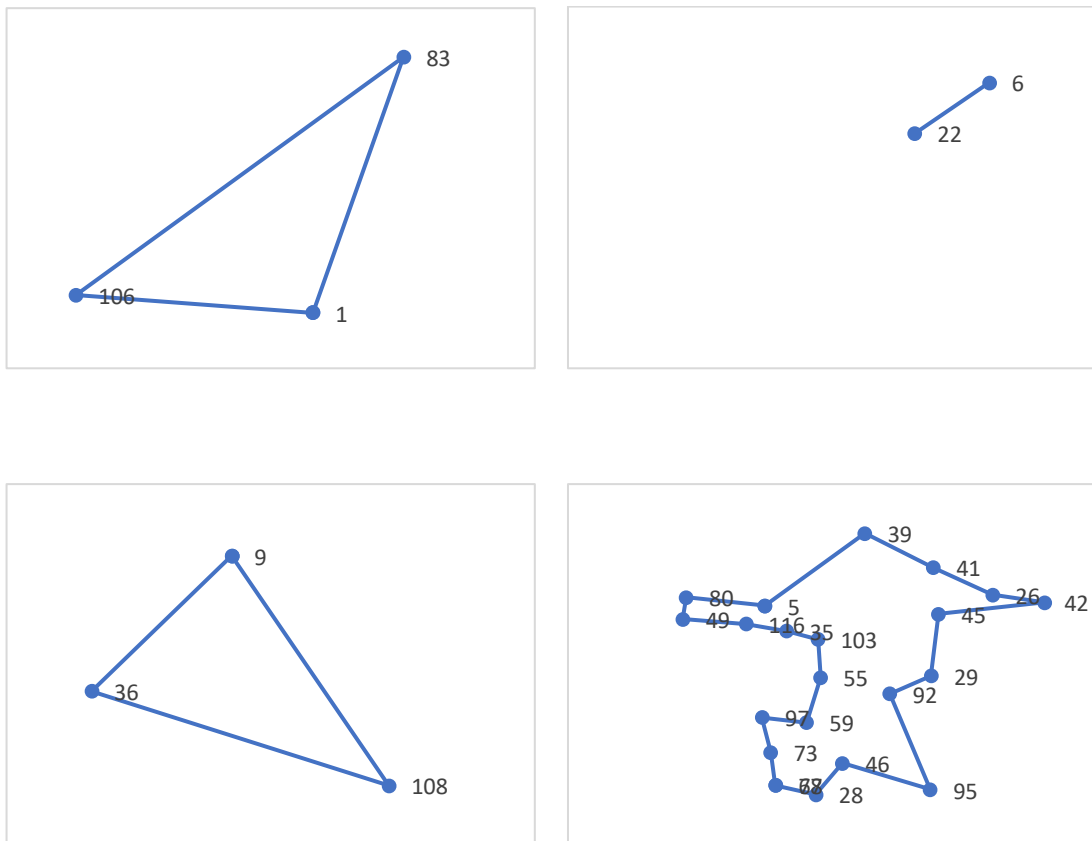
Alt Kümeler	Minimum Toplam Mesafe (km)
Sağlık Bakanlığı	7,78
Ahlatlıbel	5,09
Alacaatlı	8,02
İleri	8,53
Kızılırmak	11,23
Koru	10,35
Malazgirt	10,48
Maltepe	6,62

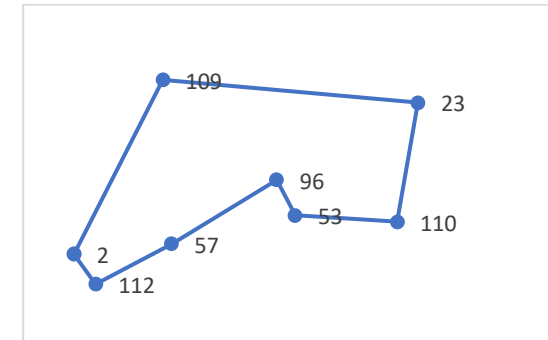
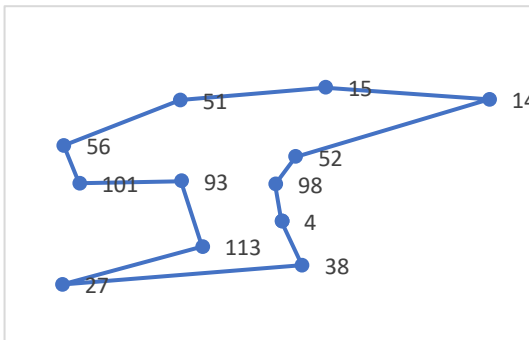
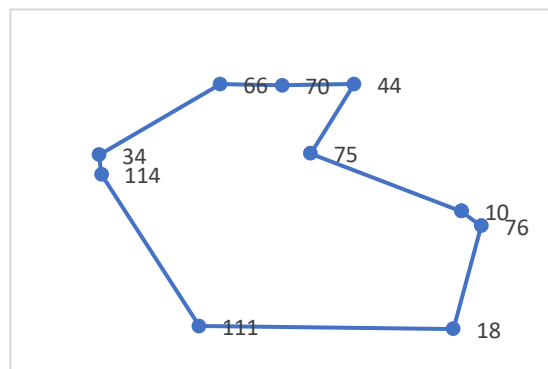
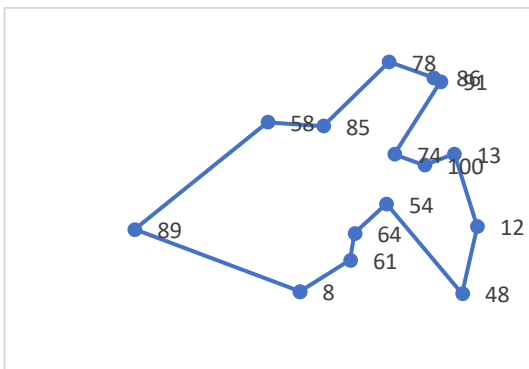
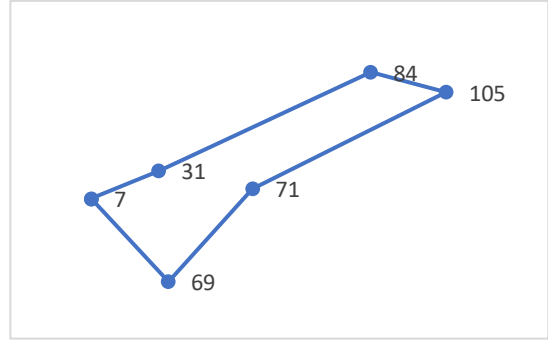
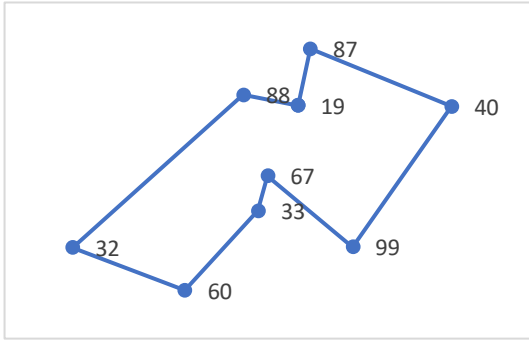
Öveçler	9,38
Sancak	9,59
Umut	14,72
Toplam	101,80

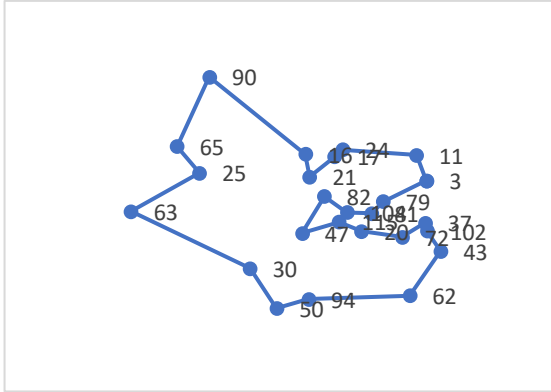
Tablo 12. Alt kümelere ait toplam mesafeler tablosu

Yukarıda da görüldüğü gibi alt kümeler arasında en kısa mesafe 7 alt kümeli Ahlatlıbel bölge merkezli gruba aittir ve alt kümeye ait toplam mesafe 5,09 olarak bulunmuştur. En uzun mesafe ise Umut mahallesi muhtarlığı merkez olan alt kümeye aittir. Bu alt kümede 25 muhtarlık yer almaktadır. Alt kümelerin toplam mesafeleri 101,80 km olarak hesaplanmıştır. Aşağıda bu oluşturulan 12 alt kümede GSP çözüldükten sonra oluşan rotaların grafikleri verilmiştir.

Şekil 17. 12 Alt kümeye ait rota grafikleri







### 3.3.5. Çankaya Muhtarlıklarını 15 Kümeye Ayrıştırma ve Gezgin Satıcı Problemi ile Dağıtım

Bu kısımda Çankaya mahalleleri muhtarlıkları 15 alt kümeye ayrıştırılmış ve bu alt kümeler kendi içlerinde GSP çözülmüştür. İlk grupta izlenen aşamalar izlenmiş ve grup sayısı ise şimdi de 15 olarak değiştirilerek alt kümelerdeki değişimler gözlemlenmiştir. Problemin sonucu 102,17 km olarak bulunmuştur. Bölünecek küme sayısı arttıkça bulunan sonucun azaldığı görülmektedir. Problemin çözümünde 14 alt küme oluşmuştur ve 12 alt kümeli grupta olduğu gibi şimdi de Yakupabdal muhtarlığı diğer alt kümelerden ayrılarak tek elemanlı bir küme haline gelmiştir. Aşağıdaki tabloda bulunan bölge merkezleri ve bu bölgelere yerleştirilen muhtarlıkların sayısı verilmiştir.

Alt Kümeler	Muhtarlık Sayıları
Sağlık Bakanlığı	3
Alacaatlı	3
Bademlidere	9
Bahçelievler	5
Beytepe	2
Cumhuriyet	14
Güvenevler	6

Kızılırmak	8
Koru	6
Malazgirt	15
Muhsin Ertuğrul	12
Öveçler	10
Sancak	8
Topraklık	14
Yakupabdal	1

Tablo 13. 15 Kümedeki muhtarlık sayısı

Tabloda da görüldüğü gibi alt kümelerdeki muhtarlık sayısı küçülmektedir. Burada da en büyük alt küme 15 alt kümelere sahip Malazgirt muhtarlığı grubudur. En küçük alt küme ise 2 mahalle muhtarlığına sahip Beytepe grubudur. Diğer alt kümelerde yaklaşık 8 alt küme vardır. Yakupabdal muhtarlığına bir rota oluşturulmamış ve değerlendirmenin dışında tutulmuştur.

Yeni oluşturulan 15 alt kümede ilk grupta olduğu gibi GSP çözülmüş ve bulunan sonuçlar aşağıdaki alt kümelere ait minimum toplam mesafe tablosunda gösterilmiştir.

Alt Kümeler	Minimum Toplam Mesafe (km)
Sağlık Bakanlığı	7,78
Alacaatlı	8,02
Bademlidere	8,18
Bahçelievler	4,65
Beytepe	5,09
Cumhuriyet	6,14
Güvenevler	4,76
Kızılırmak	9,43

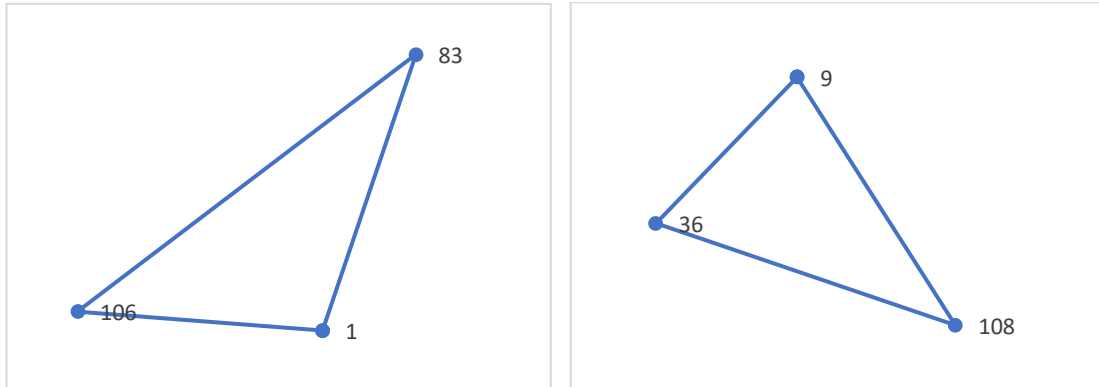


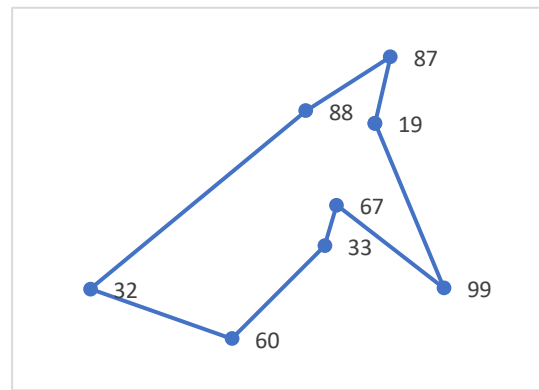
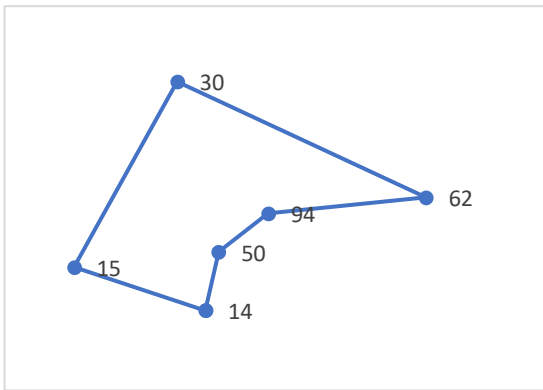
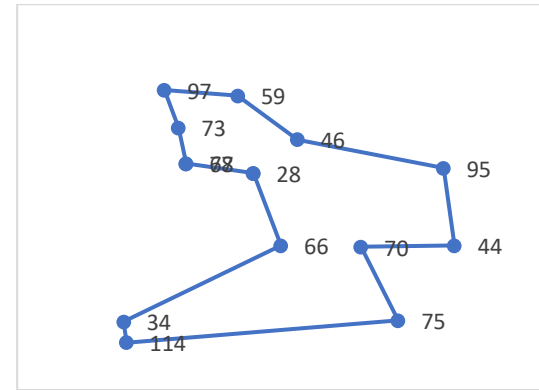
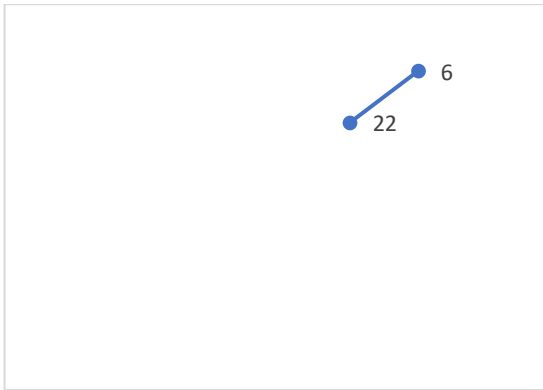
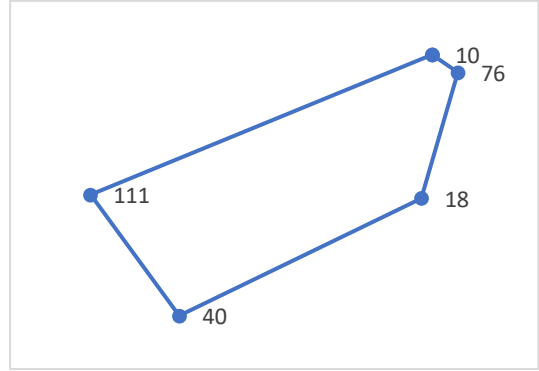
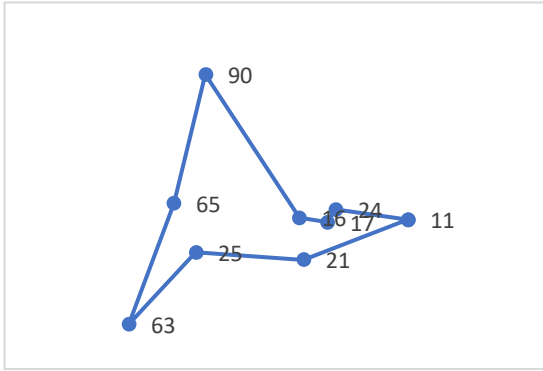
Koru	10,35
Malazgirt	10,48
Muhsin Ertuğrul	4,79
Öveçler	7,67
Sancak	9,59
Topraklık	5,76
Toplam	102,70

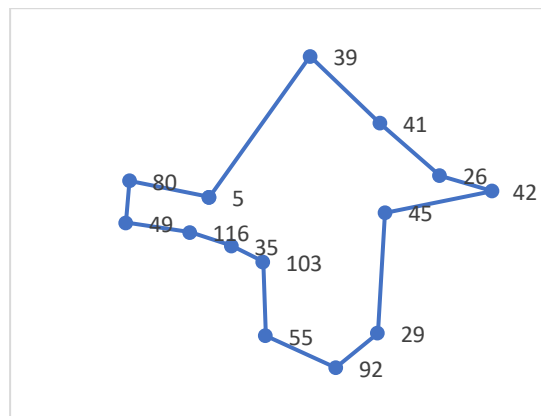
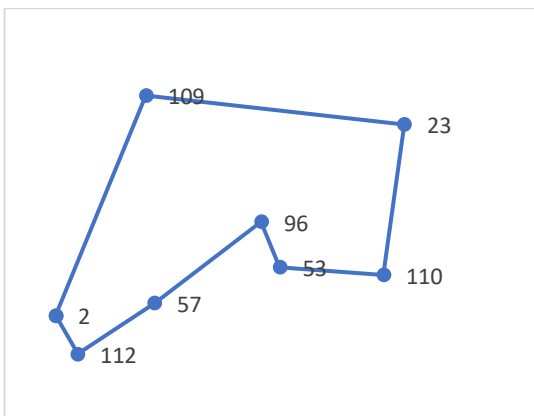
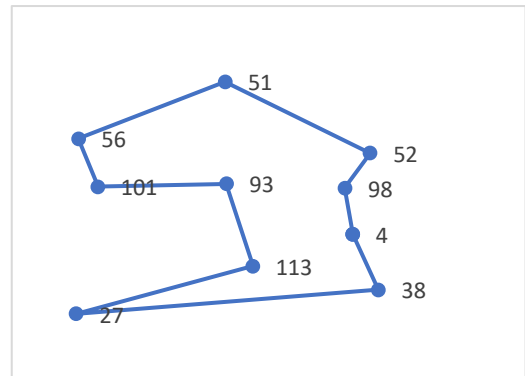
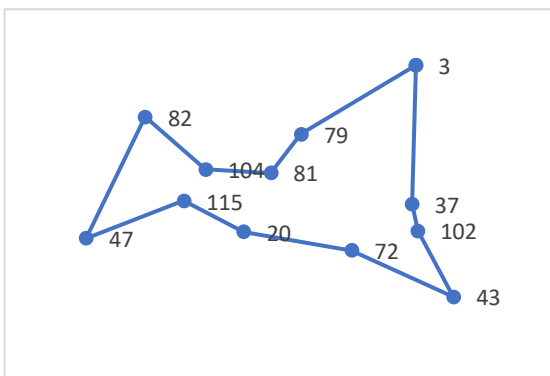
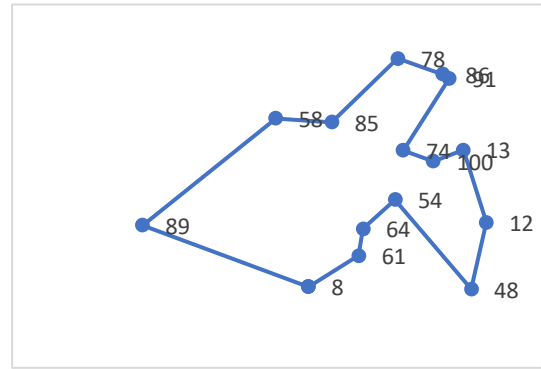
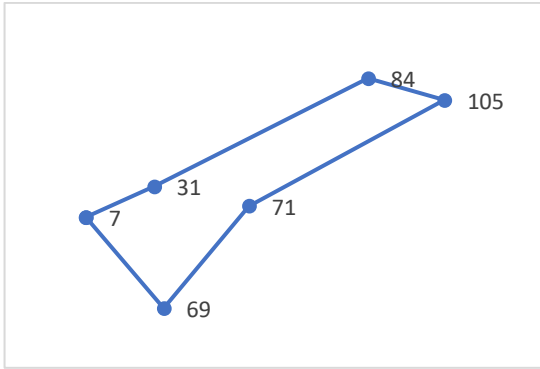
Tablo 14. Alt kümelere ait toplam mesafeler tablosu

Yukarıda da görüldüğü gibi alt kümeler arasında en kısa mesafe 5 alt kümeli Bahçelievler bölge merkezli gruba aittir ve alt kümeye ait toplam mesafe 4,65 olarak bulunmuştur. En uzun mesafe ise Malazgirt mahallesi muhtarlığı merkez olan alt kümeye aittir. Bu alt kümede 15 muhtarlık yer almaktadır. Alt kümelerin toplam mesafeleri 102,70 km olarak hesaplanmıştır. Aşağıda bu oluşturulan 15 alt kümede GSP çözüldükten sonra oluşan rotaların grafikleri verilmiştir.

Şekil 18. 15 Alt kümeye ait rota grafikleri







## SONUÇ VE ÖNERİLER

Afetler her yıl binlerce insanı olumsuz anlamda etkilemektedir. Bu zararın en aza indirgenmesi için insani yardım faaliyeti alanında pek çok çalışma yürütülmektedir. Bu alanda en önemli etken doğru planlama ve uygulamadır. Bu yüzden insani yardım faaliyetleri planlanırken en az maliyetli, en kısa sürede, en kısa mesafe hedeflenir.

Bu çalışmada Ankara ilinin Çankaya ilçesi için COVID-19 aşı dağıtımında üç farklı problem ile rotalamalar yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı; Çankaya'da yaşayan nüfusa COVID-19 aşılarını mümkün olduğunca hızlı şekilde ulaştırmak için incelenen üç problemde en iyi sonucu veren yöntemi bulmaktır. Çankaya ilçesine ait 116 mahalle muhtarlığı belirlenmiş ve bu noktalarda Gezgin Satıcı Problemi, Araç Rotalama Problemi ve Küme Ayırıştırma Problemleri çözülmüş, minimum toplam mesafeler bulunmuştur. Büyük bir problem olduğu için problemlerin çözümünde farklı sezgisellerden yararlanmak gerekmiştir. Gezgin Satıcı Problemini çözerken MTZ Algoritması uygulanmıştır ancak çözüm çok uzun zaman alınca Tembel Kısıtlar'dan yararlanmaya karar verilmiştir. Araç Rotalama Problemi çözüldükten sonra Clark-Wright Algoritması kullanılmış ve Küme Ayırıştırma Problemi'nin ikinci aşamasında alt kümeler içinde Gezgin Satıcı Problemi çözüldükten sonra MTZ Algoritması uygulanmıştır.

Çalışma MTZ Algoritmasının büyük problemlerde yararlı olmayabileceğini göstermiştir. Gezgin Satıcı Problemi (GSP) çözüldüğünde bulunan sonuç iyi sonuçlardan biri olmasında rağmen 116 noktayı tek bir araçla dolaşmanın teslimat zamanı açısından çok verimli olmayabileceği ve bir pandemi halinde nüfusu aşılama gibi hızlı reaksiyon alınması gereken durumlarda bunun dezavantaj oluşturabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Gerçek zamanlı bir dağıtım sürecinde yükleme, boşaltma gibi işlemlerin de zaman alacağı

bilinmektedir. Bu yüzden çalışmada Gezgin Satıcı Problemi diğer problemlere ve çözümlere bir referans noktası olması açısından çözülmüştür.

Araç Rotalama Problemi (ARP)'ne bakıldığı zaman 100 kapasiteli ve 150 kapasiteli araçlarla yapılan teslimatlarda toplam mesafenin GSP'den çok daha fazla olduğu görülmüştür. CW Algoritması uygulandığı iyileştirmeli çözümlerde de toplam mesafe kısalmış olsa bile GSP'de elde edilen sonuca yeterince yaklaşmamıştır. Buradan sadece araç sayısını artırmanın toplam mesafeyi azaltmaya yetmediği kanısına varılabilir. Ayrıca CW Algoritmasından ve İyileştirmelerden yararlanıldığı çözümlerin toplam mesafeyi kısalttığı fakat araç kapasitesini artırmanın toplam mesafeye etkisinin daha fazla olduğu da sonuçlarda ortaya çıkmıştır.

Küme Ayırıştırma Problemi (KA) ise elde ettiğimiz en iyi sonucu vermiştir. Mahalleler 12 kümeye ayrıştırılıp aralarında MTZ Algoritması çözüldüğünde 101,80 km ile en kısa toplam mesafeye ulaşılmıştır. 15 kümeye ayrıştırılan senaryo diğer bir iyi çözümdür ve bu çözümlerle aralarında 0,900 km fark vardır. MTZ Algoritmasının az noktalı problemlerde hızlı bir şekilde çalıştığı görülmüştür. Bununla beraber muhtarlıkların 6, 8 ve 10 kümeye ayrıştırıldığı çözümler hariç bütün çözümler diğer iki yöntemle kıyasla çok daha iyi sonuç vermişlerdir. Bunda Bu problemleri çözerken 160.000 talep kısıtının yani popülasyon kısıtının etkisi olduğu muhakkaktır. Muhtarlıkların 15 kümeye ayrıştırıldığı çözüm daha fazla kümeye ayrıştırmanın her zaman daha kısa mesafeli sonucu vermediğini göstermiştir. Çalışma ayrıca büyük ölçekli rotalamalarda KA'nın oldukça başarılı bir yöntem olduğunu ve noktaları kendi aralarında mesafeye göre gruplandırıp rotalamanın daha verimli olduğunu gözler önüne sermiştir.

Bu üç problemin böyle büyük bir senaryoda karşılaştırılması literatürde çok yaygın bir konu olmadığı için çalışma büyük önem taşımaktadır. Ayrıca bir doğal

afet türü olan salgınlarda insani yardım lojistiğine bir örnek teşkil eden bu çalışma aşı dağıtımının mümkün olan en verimli ve efektif bir şekilde yapılmasının önemini de vurgulamaktadır. Ankara'nın en kalabalık ilçelerinden olan Çankaya üzerinde oluşturulan matematiksel modeller, kapasite, popülasyon ve mesafeler göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur.

Son olarak bu çalışmanın insani yardım lojistiğinde insanlara ve tıbbi müdahale alanlarına tıbbi malzemelerin ulaştırılması, sahra hastanelerinin kurulabileceği doğru lokasyonların bulunması, genel bir karantina durumunda filyasyon ekiplerinin karantinada olan hastaları kontrol edebilmeleri için en iyi rotaların oluşturulması gibi literatürde insani yardım lojistiği konusunda pek çok araştırma alanına yer açtığı düşünülmektedir. Pandemide kilit noktanın tedbir, aşılama ve kontrol olduğu göz önünde bulundurulduğunda; en hızlı ve etkili aşılama programının oluşturulması, hastaların tedbirlere ve karantina kurallarına uyup uymadıklarının kontrolü ve gerekli ilaçların ulaştırılması bir an önce bu afet atlatılıp normal hayata dönülmesi için son derece önemlidir. Gelecek çalışmalarda problem boyutu artırılarak şehir veya ülke bazında modeller oluşturulabilir, buna paralel olarak modelin çözümünü hızlandırmak için sezgisel-meta sezgisel yöntemlerden yararlanılabilir. Senaryoya göre en iyi çözüm yöntemini bulmak için benzer karşılaştırmalar yapılabilir.

## KAYNAKÇA

- A. M. Assaf, R. N. (2021). COVID-19: Between Past and Present. *Viral Immunology*, 145-157.
- A. S. Prasad, L. H. (2017). Natural Disasters. *International Encyclopedia of Public Health*, 215–222.
- A. Tahir, G. D. (2020). Integral column generation for the set partitioning problem. *Euro Journal on Transportation and Logistics*, s. 713 - 744.
- Afet Haritaları*. (tarih yok). AFAD: <https://www.afad.gov.tr/afet-haritalari> adresinden alındı
- B. Balçık, B. B. (2008). Facility location in humanitarian relief. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 101–121.
- B.E. Gillet, L. M. (1974). A Heuristic Algorithm for the Vehicle-Dispatch Problem. *Operations Research*, 205-451.
- Bakanlığı, T. S. (2021, Eylül). *Aşı Uygulanacak Grup Sıralaması*. Covid-19 Aşısı Bilgilendirme Platformu: <https://covid19asi.saglik.gov.tr/TR-77707/asi-uygulanacak-grup-siralamasi.html> adresinden alındı
- Bakanlığı, T. S. (2021, Eylül). *TC Sağlık Bakanlığı Covid-19 Aşısı Bilgilendirme Platformu*. [saglik.gov.tr: https://covid19asi.saglik.gov.tr](https://covid19asi.saglik.gov.tr) adresinden alındı
- Bazrafshan, R. (2021). Comparison of the Sub-Tour Elimination Methods for the Asymmetric Traveling Salesman Problem Applying the SECA Method. *AXIOMS*.
- Bellman, R. (1960). *Combinatorial processes and dynamic programming*. RAND Corporation.
- Bocks, F. (1958). An algorithm for solving travelling-salesman and related network optimisation problems. *Operations Research Society of America*, Fourteenth National Meeting.

- D. Bredstrom, K. J. (2014). Searching for optimal integer solutions to set partitioning problems using column generation. *International Transactions in Operational Research*, s. 177-197.
- D. G. Cattrysse, M. S. (1994). A SET PARTITIONING HEURISTIC FOR THE GENERALIZED ASSIGNMENT PROBLEM. *European Journal of Operational Research*, s. 167-174.
- E. Barrena, D. C. (2022). Analysis of the selective traveling salesman problem with time-dependent profits. *SPRINGER*, s. 263.
- E. G. C. Franco, J. A.-Z. (2018). Comparison between instances to solve the CVRP. *INTERNATIONAL JOURNAL OF COMBINATORIAL OPTIMIZATION PROBLEMS AND INFORMATICS* , s. 41-54.
- E. Wasil, B. G. (2008). *THE VEHICLE ROUTING PROBLEM: LATEST ADVANCES AND NEW CHALLENGES*. SPRINGER.
- Flood, M. (1956). The Traveling-Salesman Problem. *Operations Research*, 61-75.
- Friesen, M. P. (2019). Variants of the Traveling Salesman Problem. *Studies in Business and Economics* , s. 208-220.
- G. B. Dantzig, J. H. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 80-91.
- G. Clarke, J. W. (1964). Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research*, 568-581.
- G. Galindo, R. B. (2013). Review of recent developments in OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 201-211.
- G. Ghiani, G. L. (2005). *Introduction to Logistics Systems Planning and Control*. Wiley.



- G. Kovács, K. S. (2007). Humanitarian logistics in disaster relief operations. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 99-114.
- G. Kovács, K. S. (2009). Identifying challenges in humanitarian logistics. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 506-528.
- G. Morton, A. L. (1955). A contribution to the "Travelling-salesman" problem. *Journal of the Royal Statistical Society*, 185-194.
- Garfinkel, R. S. (1973). PARTITIONING FEASIBLE SET IN A BRANCH-AND-BOUND ALGORITHM FOR ASYMMETRIC TRAVELING-SALESMAN PROBLEM. *Operation Research*, s. 340-343.
- George.B. Dantzig, D. F. (1959). On a Linear-Programming, Combinatorial Approach to the Traveling-Salesman Problem. *Operations Research*, 58-66.
- H. A. Eiselt, C. S. (2022). *Operation Research A Model Based Approach*. Springer.
- H. Paz-Orozco, O. M.-B.-F. (2022). The Organization of Fruit Collection Transport in Conditions of Extreme Rurality: A Rural CVRP Case. *APPLIED COMPUTER SCIENCES IN ENGINEERING*, s. 234-242.
- H.Z. Jia, F. O. (2007). Solution approaches for facility location of medical supplies for large-scale emergencies. *Computers & Industrial Engineering*, 257-276.
- I. Bakir, N. B. (2020). Sampling Scenario Set Partition Dual Bounds for Multistage Stochastic Programs. *Inform Journal of Computing* , s. 145-163.
- J. J. Schneider, T. B. (2010). Traveling Salesman Problem with Clustering. *Journal of Statistical Physics* , s. 767-784.

- J.K. Lenstra, A. K. (1981). Complexity of vehicle routing and scheduling problems. *Networks*, 221-227.
- K. Taheri, H. M. (2022). Collaboration graph for feature set partitioning in data classification. *Expert Systems With Applications*.
- Karapetyan, G. G. (2009). Generalized Traveling Salesman Problem Reduction Algorithms. *Algorithmic Operations Research* 4, s. 144-154.
- L. Özdamar, O. D. (2012). A hierarchical clustering and routing procedure for large scale disaster relief logistics planning. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 591-602.
- Laporte, G. (2007). What You Should Know About the Vehicle Routing Problem. *Naval Research Logistics*, 811 - 819.
- Larsson, E. R. (2014). All-integer column generation for set partitioning: Basic principles and extensions. *European Journal of Operational Research*, s. 529-538.
- M. A. Nguyen, H. L. (2022). An efficient branch-and-cut algorithm for the parallel drone scheduling traveling salesman problem. *4OR-A QUARTERLY JOURNAL OF OPERATIONS RESEARCH* .
- M. Gendreau, G. L. (2002). Metaheuristics for the Capacitated VRP. *Discrete Mathematics and Applications*, 129 - 154.
- M. Held, A. J. (1984). Aspects of the traveling salesman problem. *Ibm Journal of Research and Development*, s. 476-486.
- M. Huang, K. S. (2012). Models for relief routing: Equity, efficiency and efficacy. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2-18.
- M. Yang, S. K. (2021). Scenario-robust pre-disaster planning for multiple relief items. *Annals of Operations Research*.

- M., E. R.-O. (2021, Eylül). *Coronavirus (COVID-19) Vaccinations*. A global database of COVID-19 vaccinations: [https://ourworldindata.org/covid-vaccinations?country=OWID\\_WRL](https://ourworldindata.org/covid-vaccinations?country=OWID_WRL) adresinden alındı
- M.L. Fisher, R. J. (1981). A generalized assignment heuristic for vehicle routing. *Networks*, 109-124.
- Mitra, K. D. (1985). AN EXTENSION OF SET PARTITIONING WITH APPLICATION TO SCHEDULING PROBLEMS. *European Journal of Operational Research*, s. 200-205.
- N. Altay, W. G. (2006). OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, Pages 475-493.
- P. D. Fiorini, C. J. (2021). The human side of humanitarian supply chains: a research agenda and systematization framework. *Annals of Operations Research*.
- Porta, M. (2008). *Dictionary of Epidemiology*.
- R. Abounacer, M. R. (2014). An exact solution approach for multi-objective location–transportation problem for disaster response. *COMPUTERS & OPERATIONS RESEARCH* , s. 83-93.
- R. Bazrafshan, S. H.-e.-h. (2021). Comparison of the Sub-Tour Elimination Methods for the Asymmetric Traveling Salesman Problem Applying the SECA Method. *Axioms*.
- R.L. Karg, G. T. (1964). A Heuristic Approach to Solving Travelling Salesman Problems. *Management Science*, 225-248.
- R.M. Karp, M. H. (1970). The traveling-salesman problem and minimum spanning trees. *Mathematical Programming*, 6–25.
- Rodriguez-Espindola, O. (2023). Two-stage stochastic formulation for relief operations with multiple agencies in simultaneous disasters. *OR Spectrum*.

- Ryan, N. J. (2010). The train driver recovery problem-A set partitioning based model and solution method. *Computers & Operational Research*, s. 845-856.
- S. Pappas, T. M. (2022, 03 03). *10 of the deadliest natural disasters in history*. livescience: <https://www.livescience.com/33316-top-10-deadliest-natural-disasters.html> adresinden alındı
- Torrey, T. (2021, 12 09). *Epidemic vs. Pandemic: What Are the Differences?* verywellhealth: <https://www.verywellhealth.com/difference-between-epidemic-and-pandemic-2615168> adresinden alındı
- Vigo, P. T. (2014). *Vehicle Routing: Problems, Methods, And Applications, Second Edition*. Mathematical Optimization Society Philadelphia.
- Wassenhove, L. V. (2006). Blackett memorial lecture humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear. *Journal of the Operational Research Society*, 475-490.
- who. (2021, Eylül). *WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard*. covid19.who: <https://covid19.who.int> adresinden alındı
- Y. B. Chang, Y. J. (2021). A stochastic look-ahead approach for hurricane relief logistics operations planning under uncertainty. *Annals Of Operations Research*.
- Y. N. Lien, E. M. (1993). Transformation of the generalized traveling salesman problem into the standard traveling salesman problem. *Information Sciences*, s. 177-189.
- Y. X. Wu, X. W. (2022). A Tight Approximation Algorithm for Multi-Vehicle CVRP with Unsplittable Demands on a Line. *JOURNAL OF SYSTEMS SCIENCE & COMPLEXITY*, s. 1902-1909.
- Z. Zhao, B. X. (2022). Robust traveling salesman problem with drone: balancing risk and makespan in contactless delivery. *International Transactions in Operational Research*.



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 04/05/2023

Tez Başlığı : İnsani Yardım Lojistiği: Ankara'nın Çankaya İlçesindeki Mahallelere COVID-19 Aşısı Dağıtımı

Yukarıda başlığı gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 95 sayfalık kısmına ilişkin, 04/05/2023 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda işaretlenmiş filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 6 'dır.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1-  Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç
- 2-  Kaynakça hariç
- 3-  Alıntılar hariç
- 4-  Alıntılar dâhil
- 5-  5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

**Adı Soyadı:** Eylül SÜMER  
**Öğrenci No:** N18137613  
**Anabilim Dalı:** İşletme  
**Programı:** Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler

**DANIŞMAN ONAYI**

UYGUNDUR.

---

Prof. Dr. Aydın ULUCAN



**HACETTEPE UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF SOCIAL SCIENCES  
MASTER'S THESIS ORIGINALITY REPORT**

**HACETTEPE UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF SOCIAL SCIENCES  
BUSINESS ADMINISTRATION DEPARTMENT**

Date: 04/05/2023

Thesis Title : Humanitarian Logistics: Distrubiton of COVID-19 Vaccine to Neighbourhoods in Ankara Çankaya

According to the originality report obtained by myself/my thesis advisor by using the Turnitin plagiarism detection software and by applying the filtering options checked below on 04/05/2023 for the total of 95 pages including the a) Title Page, b) Introduction, c) Main Chapters, and d) Conclusion sections of my thesis entitled as above, the similarity index of my thesis is 6 %.

Filtering options applied:

- Approval and Decleration sections excluded
- Bibliography/Works Cited excluded
- Quotes excluded
- Quotes included
- Match size up to 5 words excluded

I declare that I have carefully read Hacettepe University Graduate School of Social Sciences Guidelines for Obtaining and Using Thesis Originality Reports; that according to the maximum similarity index values specified in the Guidelines, my thesis does not include any form of plagiarism; that in any future detection of possible infringement of the regulations I accept all legal responsibility; and that all the information I have provided is correct to the best of my knowledge.

I respectfully submit this for approval.

Date and Signature

**Name Surname:** Eylül SÜMER

**Student No:** N18137613

**Department:** Business Administration

**Program:** Production Management and Quantitative Methods

**ADVISOR APPROVAL**

APPROVED.

---

Prof. Dr. Aydın ULUCAN





HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
TEZ ÇALIŞMASI ETİK KOMİSYON MUAFİYETİ FORMU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 04/05/2023

Tez Başlığı: İnsani Yardım Lojistiği: Ankara'nın Çankaya İlçesindeki Mahallelere COVID-19 Aşısı Dağıtımı

Yukarıda başlığı gösterilen tez çalışmam:

1. İnsan ve hayvan üzerinde deney niteliği taşımamaktadır,
2. Biyolojik materyal (kan, idrar vb. biyolojik sıvılar ve numuneler) kullanılmasını gerektirmemektedir.
3. Beden bütünlüğüne müdahale içermemektedir.
4. Gözlemsel ve betimsel araştırma (anket, mülakat, ölçek/skala çalışmaları, dosya taramaları, veri kaynakları taraması, sistem-model geliştirme çalışmaları) niteliğinde değildir.

Hacettepe Üniversitesi Etik Kurullar ve Komisyonlarının Yönergelerini inceledim ve bunlara göre tez çalışmamın yürütülebilmesi için herhangi bir Etik Kurul/Komisyon'dan izin alınmasına gerek olmadığını; aksi durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

**Adı Soyadı:** Eylül SÜMER  
**Öğrenci No:** N18137613  
**Anabilim Dalı:** İşletme  
**Programı:** Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler  
**Statüsü:**  Yüksek Lisans  Doktora  Bütünleşik  
Doktora

**DANIŞMAN GÖRÜŞÜ VE ONAYI**

---

Prof. Dr. Aydın ULUCAN

**Detaylı Bilgi:** <http://www.sosyalbilimler.hacettepe.edu.tr>

**Telefon:** 0-312-2976860

**Faks:** 0-3122992147

**E-posta:** [sosyalbilimler@hacettepe.edu.tr](mailto:sosyalbilimler@hacettepe.edu.tr)



**HACETTEPE UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF SOCIAL SCIENCES  
ETHICS COMMISSION FORM FOR THESIS**

**HACETTEPE UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF SOCIAL SCIENCES  
BUSINESS ADMINISTRATION DEPARTMENT**

Date: 04/05/2023

Thesis Title: Humanitarian Logistics: Distrubiton of COVID-19 Vaccine to Neighbourhoods in Ankara Çankaya

My thesis work related to the title above:

6. Does not perform experimentation on animals or people.
7. Does not necessitate the use of biological material (blood, urine, biological fluids and samples, etc.).
8. Does not involve any interference of the body's integrity.
9. Is not based on observational and descriptive research (survey, interview, measures/scales, data scanning, system-model development).

I declare, I have carefully read Hacettepe University's Ethics Regulations and the Commission's Guidelines, and in order to proceed with my thesis according to these regulations I do not have to get permission from the Ethics Board/Commission for anything; in any infringement of the regulations I accept all legal responsibility and I declare that all the information I have provided is true.

I respectfully submit this for approval.

Date and Signature

**Name Surname:** Eylül SÜMER  
**Student No:** N18137613  
**Department:** Business Administration  
**Program:** Production Management and Quantitative Methods  
**Status:**  MA  Ph.D.  Combined MA/ Ph.D.

**ADVISER COMMENTS AND APPROVAL**

---

Prof. Dr. Aydın ULUCAN

