



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

**PANDEMİ SÜRECİNDE İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İLE
KEŞİF/GÖZETLEME VE MEDİKAL ÜRÜN DAĞITIMI İÇİN
ROTALAMA UYGULAMALARI**

Emre LEBLEBİCİ

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2021

**PANDEMİ SÜRECİNDE İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İLE KEŞİF/GÖZETLEME
VE MEDİKAL ÜRÜN DAĞITIMI İÇİN ROTALAMA UYGULAMALARI**

Emre LEBLEBİCİ

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2021

KABUL VE ONAY

Emre LEBLEBİCİ tarafından hazırlanan “PANDEMİ SÜRECİNDE İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İLE KEŞİF/GÖZETLEME VE MEDİKAL ÜRÜN DAĞITIMI İÇİN ROTALAMA UYGULAMALARI” başlıklı bu çalışma, 14.06.2021 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)

Dr. Öğr. Üyesi Sedat BELBAĞ (Üye)

Dr.Öğr.Üyesi Mustafa ÇİMEN (Üye)

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

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

...../...../.....

Emre LEBLEBİCİ

¹“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”

(1) Madde 6. 1. Lisansüstü teze 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.

Emre LEBLEBİCİ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimin başladığı ilk günden itibaren bana her daim örnek olan, bu çalışmanın hazırlanmasında akademik bilgi birikimini, tecrübelerini ve emeğini bir an olsun esirgemeyen, sabırla tüm sorularıma yanıt veren ve bu süreci başarıyla tamamlamamda beni her zaman destekleyen değerli hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Aydın ULUCAN'a

Çalışmama yönelik ilgi, destek ve katkılarından dolayı sayın hocalarım ve jüri üyelerim Mehmet SOYSAL, Kazım Barış ATICI, Mustafa ÇİMEN ve Sedat BELBAĞ'a,

Çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen Seda Büşra SARAÇ'a en içten saygı, sevgi ve teşekkürlerimi sunuyorum.

ÖZET

LEBLEBİCİ, Emre. *Pandemi Sürecinde İnsansız Hava Araçları İle Keşif/Gözetleme Ve Medikal Ürün Dağıtımı İçin Rotalama Uygulamaları*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2021.

Teknolojideki hızlı gelişmeler ile birlikte İnsansız Hava Araçlarının (İHA) kullanımı birçok sektörde yaygınlaşmış durumdadır. Özellikle otonomi seviyesinin yükselmesi ile birlikte kullanım kolaylığı sağlanmıştır ve herkes tarafından kullanılabilir hale gelmiştir. Bütün bunlarla birlikte afet sonrası durumlar, ilaç dağıtımı gibi toplum yararına olan uygulamalarda da İHA'ların kullanıldığı uygulamalar bulunmaktadır.

Otonomi seviyesi yüksek bir İHA sistemi için ilk aşamalardan biri olan İHA'ların rotalaması bu çalışmada ele alınmıştır. Birden fazla İHA'nın rotalama problemi iki farklı uygulamada iki farklı şekilde çözülmüştür. Bu çözümlerden ilki küme örtüleme problemi ile İHA'ların gitmesi beklenen bölgelerin kümelenmesi ve bu kümeler içerisinde her bir İHA için Gezgin Satıcı Problemi modeli ile optimal rotanın bulunmasıdır. Diğer çözüm ise sezgisel yöntemlerden olan Clarke ve Wriğth tasarruf algoritmasını çalıştıran Araç Rotalama Problemi ile İHA'lara ilişkin rotaların belirlenmesidir.

Yukarıda açıklanan problemler güncel pandemi koşulları da göz önünde bulundurularak toplum yararına örnek uygulamalarda birden fazla İHA'nın rotalaması problemi üzerine çalışılmıştır. İlk uygulamada bir şehir merkezi yönetilebilir parsellere ayrılmıştır, bu parseller içerisinde potansiyel kalabalık bölgeler belirlenmiştir ve bu bölgelerde İHA'lar ile gözetleme görevinin gerçekleştirilmesi için İHA'ların rotasının belirlenmesi üzerine çalışılmıştır. Diğer uygulamada ise Covid hastalarına dağıtılmak üzere ilaçların şehir hastanelerinden İHA'lar ile muhtarlıklara sevk edilmesi üzerine çalışılmıştır.

İlk uygulama Avrupa'nın kalabalık ve turistik şehirlerinden biri olan Münih'te gerçekleştirilmiştir. Münih şehir merkezinde belirlenen toplam 10 km²'lik bir alan 64 parsel bölünmüştür ve bu alan için çözüm geliştirilmiştir. İkinci uygulama ise Ankara'nın Çankaya İlçesi'nde uygulanmıştır. Ankara Bilkent Şehir Hastanesi'nden 117 mahalle muhtarlığına İHA'lar ile ilaçların taşınması üzerine çözüm geliştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler

İnsansız Hava Aracı, İHA Rotalama, ARP, TSP, GSP, Küme Örtüleme

ABSTRACT

LEBLEBİCİ, Emre. *Routing Applications For Discovery/Surveillance And Medical Product Distribution Using Unmanned Aerial Vehicle During The Pandemic Process*, Master's Thesis, Ankara, 2021.

Unmanned Aerial Vehicles usage is increased on many areas thanks to fast developments on technology. Especially ease of use has been provided by increasing autonomy level so, UAV become utilizable by everybody. After all, many UAV based application seen on humanitarian applications such as disaster management and medical transportation.

UAV routing problem is discussed on this thesis report as the first step of a high level autonomous UAV system. Routing problem of more than one UAVs has been solved on two different scenarios with two different solution methods. First of these solutions is that grouping expected visiting points with Set Covering Problem Method and define optimal route for each of UAV in those groups with Travelling Salesman Problem Method. The second one is that determining routes for each UAV with Vehicle Routing Problem Method.

Considering the problems described above and the current pandemic conditions, the routing problem of more than one UAV has been studied in sample applications for the benefit of society. In the first application, a city center was divided into manageable parcels, potential crowded areas were determined within these parcels, and it was studied on determining the route of the UAVs to perform the surveillance mission with UAVs in these areas. In the other application, it has been studied on the delivery of medicals from city hospitals to neighborhood centers by UAVs.

The first applications has been studied in Munich as one of the most crowded and touristic city of Europe. The 10 km² determined area in Munich city center is divided into 64 parcels and solution is developed for this area. The second application is applied on Çankaya District of Ankara. The solutions is developed in order to transport medicals from Ankara Bilkent City Center to 117 neighborhood centers.

Key Words

Unmanned Aerial Vehicles, UAV Routing, VRP, TSP, Set Covering

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI.....	ii
ETİK BEYAN.....	iii
TEŞEKKÜR	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
GİRİŞ	1
1. İNSANSIZ HAVA ARACI SİSTEMLERİ’NİN KULLANIM ALANLARI VE OTONOMİ	5
1.1. İNSANSIZ HAVA ARACI SİSTEMLERİ	5
1.1.1. İNSANSIZ HAVA ARACI SİSTEMİ TANIMI	5
1.1.2. İNSANSIZ HAVA ARACI SİSTEMLERİ SINIFLANDIRMASI	5
1.1.3. İNSANSIZ HAVA ARACI SİSTEMİ BİLEŞENLERİ.....	8
1.2. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ KULLANIM ALANLARI.....	12
1.3. OTONOMİ.....	13
2. KULLANILACAK MATEMATİKSEL MODELLER	16
2.1. Gezgin Satıcı Problemi Modeli.....	16
2.2. Araç Rotalama Problemi Modeli	17
2.3. Küme Örtüleme Modeli	20
3. PROBLEMİN TANIMLANMASI VE LİTERATÜR TARAMASI	22
3.1. PROBLEM TANIMLAMA.....	22
3.1.1. Şehir Merkezi Keşif/Gözetleme Uygulaması.....	22
3.1.2. İlaç Dağıtım Uygulaması	24
3.2. LİTERATÜR TARAMASI	26

4. UYGULAMA ÖRNEKLERİ.....	35
4.1. ŞEHİR KEŞİF GÖZETLEME UYGULAMASI.....	35
4.1.1. Problem Tanımı.....	35
4.1.2. Problemin Çözümü	38
4.2. İHA'LAR İLE İLAÇ DAĞITIMI UYGULAMASI.....	48
4.2.1. Problem Tanımı.....	48
4.2.2. Problemin Çözümü	53
SONUÇ.....	61
KAYNAKÇA	62
EKLER.....	66
EK-1 MUNİH ŞEHİRİ PARSELLERİ ARASINDAKİ MESAFELER.....	66
EK-2 MUNİH ŞEHİRİ BELİRLENEN PARSELLERİN KONUMLARI VE TALEPLERİ.....	67
EK-3 ÇANKAYA İLÇESİ MAHALLELERİNE İLİŞKİN BİLGİLER	69
EK-4 ÇANKAYA İLÇESİ MAHALLERİNİN NÜFUS VE TAHMİNİ GÜNLÜK VAKA BİLGİLERİ.....	73
EK-5 ALACAATLI MAHALLESİ HES UYGULAMASI YOĞUNLUK HARİTASI VE PARSEL BİLGİLERİ	76
EK-6 TEZ ORJİNALLİK FORMU	78
EK-7 ETİK KOMİSYON MUAFİYET FORMU	80

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1 - SHGM İHA Sınıflandırması.....	6
Tablo 2 - NASA İHA Sınıflandırması	7
Tablo 3 - İHA Rotalama Konulu Çalışmalar	28
Tablo 4 – Bölgelere göre koordinat ve talep bilgileri	39
Tablo 5 – Bölgeler arası uzaklık hesaplamaları	39
Tablo 6 – Potansiyel Kalkış Noktaları Karşılaştırma Tablosu.....	48
Tablo 7 – Mahalle Koordinat Bilgileri.....	53
Tablo 8 - Çankaya Mahalleleri Nüfus ve Günlük Vaka Sayısı.....	54
Tablo 9 - Parsel Bilgileri	55
Tablo 10 - VRP Solver Çözüm Kombinasyonları	59

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1 - İnsansız Hava Aracı Sistemi Bileşenleri Yapısı	8
Şekil 2 - Otonomi Seviyeler	14
Şekil 3 - Münih Şehir Merkezi Haritası	36
Şekil 4 – İHA bakış yönü ve gözlemlenen alan gösterimi	37
Şekil 5 - Örnek bir bölge için gözetleme süresi hesaplaması.....	38
Şekil 6 – Küme Örtüleme Modeli Uygulama Veri Seti	40
Şekil 7 – SolverStudio Parametre Ekranı.....	41
Şekil 8 – Küme Örtüleme Modeli Çözüm Kümesi	42
Şekil 9 – SolverStudio Parametre Ekranı.....	43
Şekil 10 –TSP Çözümü ile Bulunan İHA Rotalama Örneği	44
Şekil 11 – A noktasından kalkan 7 İHA için hesaplanan optimal rotalar	44
Şekil 12 – A noktasından kalkan 7 İHA için optimal rotaların görseli.....	45
Şekil 13 - B noktasından kalkan 7 İHA için hesaplanan optimal rotalar	45
Şekil 14 - B noktasından kalkan 7 İHA için optimal rotaların görseli.....	46
Şekil 15 - C noktasından kalkan 7 İHA için hesaplanan optimal rotalar	46
Şekil 16 - C noktasından kalkan 7 İHA için optimal rotaların görseli.....	47
Şekil 17 - D noktasından kalkan 7 İHA için hesaplanan optimal rotalar	47
Şekil 18 - D noktasından kalkan 7 İHA için optimal rotaların görseli.....	47
Şekil 19 - Çankaya İlçesinde bulunan 117 Mahallenin Konumu.....	50
Şekil 20 - HES Uygulaması Ekran Görüntüsü	52
Şekil 21 - VRP Çözüm Seçenekleri	56
Şekil 22 - Depth ve Iteration Değeri 1 Seçilen Çözüm.....	57
Şekil 23 - Depth ve Iteration Değerleri 3 Olarak Seçilen Çözüm.....	57
Şekil 24 - Depth ve Iteration Değerleri 5 Olarak Seçilen Çözüm.....	58
Şekil 25 - Optimal Rotalama.....	60

GİRİŞ

Günümüzde kullanımı oldukça yaygınlaşan İnsansız Hava Araçlarının (İHA), hobi seviyesinden askeri kullanıma kadar çok çeşitli alanlarda etkin olduğu görülmektedir. Teknolojik olarak alt sistemlerdeki gelişmelerin İHA'ların yaygınlaşmasında büyük rol oynadığını söylemek mümkündür. Tarih boyunca çok farklı İHA geliştirme denemeleri bulunmaktadır. İHA'lar başlarda askeri ve uzay operasyonları için daha çok tercih edilmiştir. Hatta yakın zamanda NASA tarafından gerçekleştirilen Mars çalışmaları kapsamında Mars atmosferinde insansız bir helikopterin uçuşunun gerçekleştirilmesi bütün insanlık için heyecan verici uygulamalardan birisiydi.

Günümüzde batarya teknolojisi, haberleşme teknolojisi ve yazılım teknolojisi gibi kritik teknolojilerin gelişmesi ile birlikte hobi için bireysel kullanıcı seviyesinde bile tedarik edilebilecek hale gelmiştir. Daha önce meraklıları tarafından yoğun olarak kullanılan model uçaklar yerine günümüzde drone olarak tabir ettiğimiz ürünlerin daha yaygın olarak kullanılmasının bir diğer sebebi de kullanım kolaylığıdır. İHA'ların alt sistemlerinden biri olan otopilot sayesinde İHA'lar bazı yetkinlikleri pilot girdisi olamadan gerçekleştirebilmektedir. Günümüzdeki pek çok İHA yüksekliği sabit tutma, sabit noktada durma, engelden sakınma gibi yeteneklere sahiptirler. Bu yetenekler sayesinde uzman olmadan kısa bir süre içerisinde herkes tarafından kullanılabilen sistemler ortaya çıkmaktadır. Zamanla ekonomik olarak da İHA'ların daha erişilebilir olması kullanım alanını oldukça genişletmiştir.

Kullanım alanını genişlemesi ile birlikte İHA'ların kullanıldığı operasyonlar ve uygulamalar da artış göstermeye başlamıştır. Bu uygulamaları film çekimi, zirai tarım uygulamaları, paket teslimatı, keşif-gözetleme, afet sonrası tespit, boru hatları kontrolü gibi örneklendirmek ve çeşitlendirmek mümkündür. Mevcut durumda bu uygulamaların çoğu uygulamayı gerçekleştirmek isteyen kurum tarafından seçilen bir pilotun İHA'yı yönlendirmesi ile gerçekleştirilmektedir. Film çekimi gibi 1 adet İHA kontrol etmek gerektiği zaman 1 adet pilotun İHA'yı kontrol etmesi zor bir durum teşkil etmemektedir. Fakat günümüzde birden fazla İHA'nın görev aldığı uygulamalar çoğalmaktadır. Örneğin bir tarım alanını ilaçlamak için ya da bir şehir merkezinde güvenlik amaçlı gözetleme yapmak için ya da paket teslimatı için birden fazla İHA'yı kontrol etme ihtiyacı doğmakta, kontrol zorlaşmakta ve hataya açık hale gelmektedir.

Bu noktadan yola çıkarak bu tezde birden fazla İHA'nın toplum faydasına kullanıldığı uygulamalarda süreci otonomlaştırma adına İHA'ların rotalarının belirlenmesi üzerine çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada şehir merkezinde keşif/gözetleme ve paket teslimatı olmak üzere iki örnek uygulama yapılmıştır. Her iki uygulama da günümüz pandemi koşulları içerisindeki ihtiyaçlara uygun problemler olarak kurgulanmıştır.

Şehir merkezinde keşif/gözetleme ihtiyacı her dönemde farklı amaçlar için gündemdedir. Pandemi koşullarında pek çok devlet sokaklarda insanlar arasında mesafenin korunması ve toplu buluşmaların engellenmesi için önlemler almaya çalışmışlardır. Bu tezde kurgulanan uygulamada İHA'lar ile şehir merkezlerinde yoğunluğun çok olabileceği noktalarda İHA'lar ile keşif/gözetleme görevlerini gerçekleştirmek amaçlanmıştır. Şehir merkezi içerisinde parklar, fuar alanları, meydanlar ve metro çıkışları gibi yoğun olabilecek noktalar belirlenmiş ve bu noktalar yoğunluk potansiyeline göre farklı sürelerde gözetlenmek üzere işaretlenmiştir. Probleme girdi olarak verilen bu yoğunluk haritasına göre İHA'ların rotalarının hesaplanması amaçlanmıştır. Rotalar şehrin 4 farklı noktasında bulunan kalkış noktasına göre hesaplanmıştır ve hangi noktanın İHA'lar için kalkış noktası olarak belirlenmesinin daha uygun olacağı değerlendirilmiştir.

Keşif/gözetleme probleminin uygulamasında şehir merkezi parsellere ayrılmış ve yoğunluk potansiyeli olan bölgeler belirlenmiştir. Öncelikle bölgeler küme örtüleme problemi ile İHA sayısını kadar kümelerle ayrılmış, sonrasında oluşan kümeler içerisinde Gezgin Satıcı Problemi çözümü uygulanarak İHA'ların rotaları belirlenmiştir. Bu uygulama sayesinde yüksek otonomi kabiliyetine sahip İHA'lar için tek bir kullanıcı tarafından gözetleme görevinin yapılacağı bölgelerin girilmesi yeterli olacaktır. Sonrasında İHA'lar otonom olarak rota oluşturup görevi gerçekleştireceklerdir.

İHA'lar ile paket teslimatı uygulamaları Amazon, Google gibi büyük teknoloji firmaları tarafından çalışılmış prototip seviyesinde ürünler de geliştirilmiştir. Tedarik zincirinin verimliliğini arttırmak üzere paket teslimatlarının İHA'lar ile gerçekleştirilmesi üzerine pek çok çalışma gerçekleştirilmiş olup bu alandaki çalışmalar da devam etmektedir. Bu tezde pandemi döneminin başında kısıtlı ilaç kaynağının hastalara ulaştırılması için alternatif bir yol olarak; şehir hastanesinden mahallelere günlük talebe göre İHA'lar ile ilaç sevkiyatı gerçekleştirilmesi kurgulanmıştır. Pandemi başında bütün insanlık için beklenmedik ve hazır olunmayan hastalığa karşı kaynaklar kısıtlı idi ve ilaç, test gibi

kaynaklar kısıtlıydı bu nedenle bu kaynakların stoklanması yerine talebe göre günlük olarak yönetilebilmesi kritik önem taşımaktadır. Günlük ilaç sevkiyatının gerçekleştirilmesi için coğrafi koşullar nedeniyle yol olmayan köyler ya da yoğun trafik olan şehir merkezlerinde İHA'ların kullanılabileceği değerlendirilmektedir. Bu çalışmada gerçekleştirilen uygulama örnek teşkil etmesi açısından Çankaya bölgesinin 117 mahallesinin koordinatları belirlenmiş ve Ankara Şehir hastanesinden hasta sayısına göre bu mahallelere İHA'lar ile ilaç taşınması kurgulanmıştır. Bu uygulamanın çözümünde sezgisel yöntem temelli Clarke ve Wriğth algoritmasını çalıştıran hazır VRP Solver yazılımı kullanılmıştır.

Mevcut durumda Türkiye'de hastaların temasını en aza indirmek adına hastaların adreslerine ilaç sevkiyatı filyasyon ekipleri tarafından gerçekleştirilmektedir. Buna alternatif olarak teslimatın hastaların evlerine de İHA'lar ile sevk edilmesine yönelik bir alternatif üzerinden çalışma gerçekleştirilmiştir. Günümüzde bir İHA'nın evin camına gelip teslimat yapabilmesi hem teknolojik durum hem altyapısal durum göz önünde bulundurulduğunda çok mümkün değildir. Fakat ileride bu teslimatı gerçekleştirmeyi mümkün kılan bir altyapının kurgulanması durumunda hastaların evlerine kadar ilaç teslimatının İHA'lar ile gerçekleştirilmesine yönelik bir uygulama kurgulanmıştır. Uygulama örneğinde Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı tarafından geliştirilen Hayat Eve Sığar (HES) uygulamasında gösterilen Covid vakalarının yoğunluk haritası kullanılmıştır. Yoğunluk haritasından yola çıkarak bölgede bulunan bir sağlık ocağından hareket edecek İHA'ların rotaları belirlenmiştir. Bu uygulamanın çözümünde sezgisel yöntem temelli Clarke ve Wriğth algoritmasını çalıştıran hazır VRP Solver yazılımı kullanılmıştır.

Çalışmanın ilk bölümünde İHA Sistemleri ve otonomi kavramları ele alınmıştır. Son zamanlarda gelişen bu kavramların literatürde bulunan farklı tanımlamalara değinilmiştir. Çalışmada kullanılan İHA'ları belirleyebilmek adına İHA'ların tipleri, sınıflandırmaları ve alt bileşenleri tanımlanmıştır. Bu bölümde İHA'ların kullanım alanlarına da detaylı olarak yer vererek çalışmanın en önemli kavramlarından biri olan otonomi kavramı detaylı olarak anlatılmıştır.

İkinci bölümde, çalışma içerisinde ele alınan iki örnek uygulama için kurgulanan problemin tanımlanması gerçekleştirilmiş, problemlerin ortaya çıkışları ve kurgulanma

sırasında gerçekleştirilen kabullere değinilmiştir. Bunun yanı sıra İHA'lar ve İHA'ların rotalaması üzerine yapılmış olan literatür taraması kapsamında literatürde bulunan çalışmalara dair önemli bilgilere yer verilmiştir.

Bu çalışma içerisinde ele alınan 2 örnek uygulamanın çözümü için Gezgin Satıcı Problemi, Araç Rotalama Problemi ve Küme Örtüleme Modelleri kullanılmıştır. Üçüncü bölümde bu modellerin matematiksel formülasyonları verilmiştir.

Dördüncü bölümde birden fazla İHA'nın toplum faydasına kullanıldığı uygulamalarda süreci otonomlaştırma adına İHA'ların rotalarının belirlenmesi üzerine çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamalar için kurgulanmış olan 2 (iki) farklı probleme ve bu problemlerin çözümüne ilişkin bilgilere de bu bölümde yer verilmiştir.

1. İNSANSIZ HAVA ARACI SİSTEMLERİ’NİN KULLANIM ALANLARI VE OTONOMİ

1.1. İNSANSIZ HAVA ARACI SİSTEMLERİ

Bu tez çalışması İnsansız Hava Araçların (İHA) insani uygulamalarda kullanılmasına yönelik uygulamaları ele alan bir çalışmadır. Bu bölümde tez içerisindeki uygulamalara konu İHA’ların tanımı, sınıflandırması, bileşenleri, kullanım alanları detaylarıyla anlatılmıştır. Bu detaylar uygulamalarda kullanılacak İHA’ları tanımak açısından önem arz etmektedir. İHA’ların yanı sıra otonomi kavramı da tezin önemli noktaların birisidir. Bu bölümde otonomi kavramı detaylıca açıklanmış ve bu uygulamalardaki önemi belirtilmiştir.

1.1.1. İNSANSIZ HAVA ARACI SİSTEMİ TANIMI

Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü tarafından 22.02.2016 tarihinde yayınlanan “İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı”nın 3.Revizyonuna göre İnsansız Hava Aracı, İnsansız Hava Aracı Sistemleri’nin bir bileşeni olarak işletilen, aerodinamik kuvvetler aracılığıyla sürekli uçuş yapma yeteneğinde olan, üzerinde pilot bulunmaksızın uzaktan İHA pilotu tarafından kontrol edilerek veya otonom operasyonu İHA pilotu tarafından planlanarak uçurulan ya da havada kalabilen hava aracı olarak tanımlanır (Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, 2016).

Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı’nın yayımladığı Askeri ve İlgili Terimler Sözlüğü’nde ise İnsansız Hava Araçları operatör olarak insan taşımayan, aerodinamik kuvvetler sayesinde havalanan, otonom ya da uzaktan kumanda ile uçabilen ve ölümcül veya ölümcül olmayan faydalı yük taşıyabilen hava aracı olarak tanımlanır (Office of the Chairman of the Joint Chiefs of Staff, 2010).

Tanımlardan da görüldüğü gibi İHA’lar sivil ve askeri alanlarda benzer cihazlar olarak tanımların ve her iki kullanım alanında da insanlı sistemlere kıyasla verimlilik, ucuzluk, kullanım kolaylığı bakımında tercih edilen sistemlerdir.

1.1.2. İNSANSIZ HAVA ARACI SİSTEMLERİ SINIFLANDIRMASI

İHA’lar çok farklı boyutlarda ve çok farklı özelliklerde olabilmektedir. Bu nedenle İHA’ların sınıflandırılması önem arz etmektedir. Boyutlarına göre maruz kaldıkları aerodinamik kuvvetler ve kullandıkları alt sistemler değişiklik gösterebilmektedir. Bu

çalışmada kullanılan İHA'ların hangi sınıfta olduğunu belirleyebilmek adına İHA sınıflandırmaları önem arz etmektedir. Bu bölümde bu çalışmada kullanılması öngörülen İHA Sistemlerinin sınıfı belirtilecektir.

Dünyada birbirinden çok farklı yöntemler kullanılarak İHA'ların sınıflandırması gerçekleştirilmektedir. Ağırlık, irtifa, askeri-sivil, menzil gibi kriterler farklı sınıflandırma uygulamaları için kullanılmaktadır. Bu sınıflandırmalar genel olarak ağırlık kriteri baz alınarak hazırlanmaktadır (Maddalon, ve diğerleri, 2013).

Türkiye'de SHGM'nin kullandığı sınıflandırma İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı'nda belirtilmiştir. SHGM tarafından İHA'lar azami kalkış ağırlık kriterine göre aşağıdaki gibi 4 ayrı sınıfa ayrılmıştır:

Tablo 1 - SHGM İHA Sınıflandırması

İHA Sınıfı	Azami Kalkış Ağırlığı
İHA 0	500 gr (dâhil) – 4 kg
İHA 1	4 kg (dâhil) – 25 kg
İHA 2	25 kg (dâhil) – 150 kg
İHA 3	150 kg (dâhil) ve daha fazla

Bunun yanı sıra dünyada daha detaylı sınıflandırma örnekleri de kullanılmaktadır. NASA'nın kullandığı sınıflandırma tablosu aşağıdaki Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2 - NASA İHA Sınıflandırması

Sınıf ve Ağırlık, m (kg)	Kategori ve Ağırlık, m (kg)	Kullanım Alanı	Operasyon İrtifası, h (ft)	Görev Yarıçapı (Menzil) (km)	Örnek Platform
Sınıf I m<150 kg	Küçük m>20	Taktik Birimler	h≤5,000	50	Luna, Hermes 90, ScanEagle, Skylark, Raven, DH3, Aladin, Strix
	Mini 2≤m≤20	Taktik Birimler	h≤3,000	25	
	Mikro 2<m	Taktik Birimler / Devriye / Bireysel	h≤200	5	Black Widow
Sınıf II 150≤m≤600	Taktik	Taktik Formasyon	h≤10,000	200	Sperwer, Iview 250, Hermes 450, Aerostar, Ranger
Sınıf III m>600	Hücum/Savaş	Stratejik / Ulusal	h≤65,000	Sınırsız	
	HALE (Yüksek İrtifa Uzun Uçuş Süresi)	Stratejik / Ulusal	h≤65,000	Sınırsız	Global Hawk
	MALE (Orta İrtifa Uzun Uçuş Süresi)	Operasyonel	h≤45,000	Sınırsız	Predator A, Predator B, Heron, Heron TP, Hermes 900

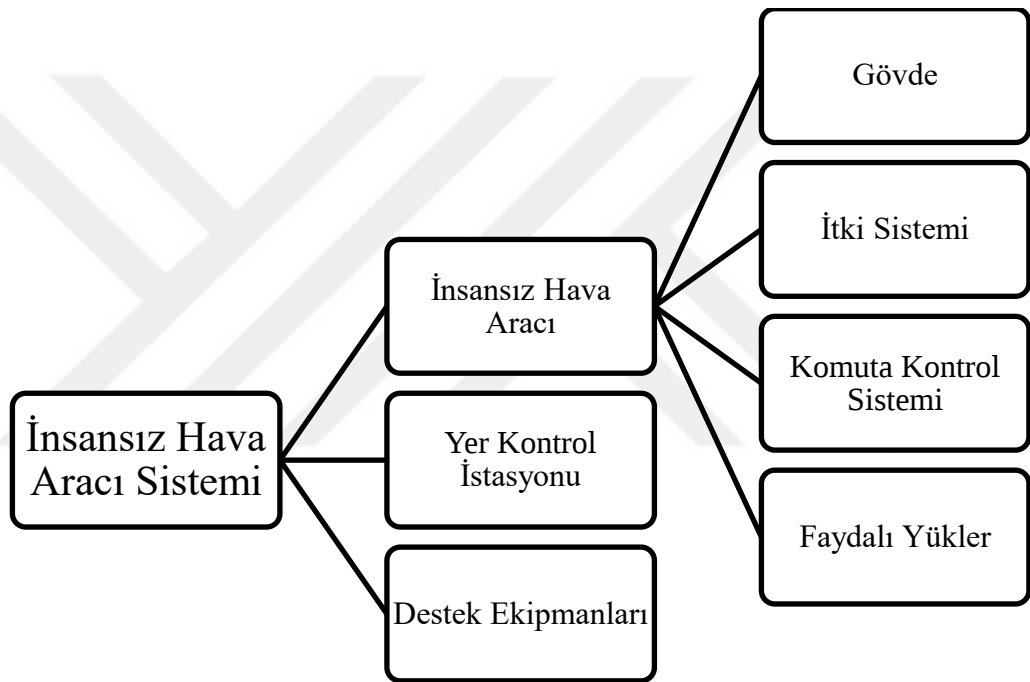
Bu tabloda gösterildiği gibi azami kalkış ağırlığına göre 3 ana sınıf altında incelenen İHA'lar yine azami kalkış ağırlığı, irtifa ve menzil kriterlerine göre alt sınıflara ayrılmıştır.

Bu çalışmada gerçekleştirilen uygulamalar şehir içi uygulamalardır bu nedenle kullanılan İHA'ların NASA sınıflandırmasına göre Mini sınıfında Sivil Havalık sınıflandırmasına göre İHA0, İHA1sınıfında olması öngörülmüştür. Şehir içi kullanımda büyük boyutlu kalkış için pist ihtiyacı olan İHA'lar yerine küçük, mobil İHA'ların kullanımı tercih edilmektedir.

1.1.3. İNSANSIZ HAVA ARACI SİSTEMİ BİLEŞENLERİ

Gerçekleştirilen görevin kapsamına ve ihtiyaçlarına göre İHA'ların tasarımları farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle İHA bileşenlerinin detaylı olarak bilinmesi önem arz etmektedir. Bu bölümde bu çalışmada kullanılması öngörülen İHA Sistemlerine ilişkin alt sistemler belirtilecektir.

Farklı insansız hava aracı sistemlerinde farklı ana bileşen ayırmaları gerçekleştirilebilmektedir. Buna rağmen ana hatlarıyla bir insansız hava aracı sistemi aşağıdaki Şekil 1'de gösterildiği gibi ana bileşenlerine ayrılabilir:



Şekil 1 - İnsansız Hava Aracı Sistemi Bileşenleri Yapısı

1.1.3.1. İnsansız Hava Aracı

Ticari ve askeri sınıfta pek çok türde insansız hava aracı bulunmaktadır. Yoğunlukla kullanılan başlıca insansız hava aracı türleri sabit kanat, multikopter (Döner Kanat), helikopter, VTOL olarak listelenebilir.

- **Sabit Kanatlı İnsansız Hava Araçları:** Yapısı geleneksel uçak yapısına benzeyen hava araçlarıdır. Genellikle burnunda ya da kıkında bir itki sistemi vardır ve uçaklardaki aerodinamik esaslara göre uçuş gerçekleştirirler. Kullanılan motor tipine (elektrik motoru, içten yanmalı motor) göre Tablo 2'de

belirtilen Sınıf I'den Sınıf III'e kadar çok farklı boyutlarda sabit kanatlı İHA örnekleri bulunmaktadır. Sabit kanatlı hava araçları itki sisteminin oluşturduğu ileri yönlü hız ile havalanır ve hızı sayesinde uçabilir, bu nedenle dikey iniş kalkış yapamaz ve hava asılı kalamazlar.

Sabit kanatlı İHA'lar diğer İHA türlerine göre daha uzun menzil ve daha uzun uçuş süresi avantajı sağlamaktadır. Bunun yanı sıra genellikle sabit kanatlı İHA'ların iniş-kalkışı için pist, fırlatma sistemi gibi lojistik ihtiyaçlar bulunmaktadır (Barnhart, Marshall, & Shappee, 2012).

- **Multikopter (Döner Kanatlı) İnsansız Hava Araçları:** Temel olarak 3 ya da daha fazla motoru ve pervanesi olan helikopterler olarak düşünülebilir. Aynı zamanda “çok rotor”lu olarak anılan multikopterler İHA-0 ve İHA-1 sınıfında yoğunlukla kullanılan hava araçlarıdır. Birden fazla motorun oluşturduğu itki kuvveti ile havada dengede kalan hava araçları bulunduğu noktadan dikey olarak kalkış ve iniş yapabilme kabiliyetine sahiptir. Askeri ve sivil alanda çoğunlukla dört motorlu olan “quadkopter”ler kullanılmaktadır. Multikopterler genellikle elektrikli motor kullanacak şekilde tasarlanmıştır. Döner kanatlı İHA'ların dikey iniş kalkış yeteneğinin yanı sıra havada asılı kalabilme kabiliyeti de vardır. Bu sayede gözetleme türü görevler için çok uygun kullanım konseptine sahiptirler. Öte yandan uçuş süresi ve faydalı yük taşıma kapasitesi diğer İHA türlerine göre daha düşüktür. Basit elektromekanik yapısı sayesinde bakımının kolay ve ucuz olması da bir diğer avantajıdır (Quan, 2017).
- **Helikopterler:** Tek motor tarafından üretilen itki ile havalanan yapıya sahip insansız hava aracı türüdür. Bildiğimiz helikopter ile aynı uçuş prensibine sahiptir. Genellikle elektrikli ve içten yanmalı motorların ikisi de boyutlara göre tercih edilebilmektedir. Motor ve pervane tarafından üretilen itki kuvveti ile havalandığı için dikey iniş kalkış yapabilmektedir. Bu nedenle pist ya da fırlatma sistemi ihtiyacı bulunmamaktadır. Sabit kanat İHA'lara göre uçuş süresi açısından benzer kapasiteye sahiptir (Quan, 2017).
- **VTOL (Dikey Kalkış İniş) İHA'lar:** Sabit kanat ve döner kanat İHA'ların birleşimi denebilecek bir yapıya sahiplerdir. Yere paralel pervaneler ile kalkış sırasında dikey kalkış gerçekleştirip sonrasında motorların eksenini değiştirerek sabit kanatlı İHA'lar gibi yatay hız oluşturarak uçuş gerçekleştiren İHA'lardır.

Askeri ve sivil alanda çok yaygın olarak kullanıldığı görülmemektedir (Quan, 2017).

Bu tezde her iki uygulama için de kullanım kolaylığı, yaygınlığı, dikey iniş kalkış ve havada asılı kalabilme kabiliyeti göz önünde bulundurularak uygulamalarda multikopter İHA'ların kullanılması uygun görülmüştür. Havada asılı kalabilme kabiliyeti özellikle gözetleme görevi için çok büyük önem arz etmektedir.

1.1.3.1.1 Gövde

İHA'ları oluşturan alt sistemleri taşıyan yapı gövde olarak adlandırılabilir. İHA'lar için hafiflik ve sağlamlık arasındaki denge çok önemlidir. Gövdede olabildiğince hafiflemek faydalı yük taşıma kapasitesini arttırmak ya da uçuş süresini arttırmak anlamına gelmektedir. Aynı zamanda uçuş manevraları sırasında hava aracına binen yükler esnasında kırılmayı önleyecek kadar da sağlam olması gerekmektedir. Bu nedenle gövde tasarımı çok önemlidir. Hava araçlarında genellikle ağırlık ve sağlamlık kriterleri göz önünde bulundurulduğunda karbonfiber, camfiber malzeme gövde yapımında oldukça yoğun olarak kullanılmaktadır. Bazı sabit kanatlı İHA'larda köpük kullanıldığı da görülmektedir.

1.1.3.1.2 İtki Sistemi

İtki sistemi İHA'lara hareket kabiliyeti kazandıran kuvveti üreten sistemin tamamına verilen addır. Bu sistem motor, pervane, güç alt sistemi olarak gruplandırılabilir. İHA'lar için bu üçlünün seçimi uçuş süresini ve taşıma kapasitesini belirleyen ana etkidir. İHA-0 ve İHA-1 sınıfında bulunan İHA'lar için genellikle elektrik motoru ve batarya kullanılmaktadır. Daha büyük sınıflarda içten yanmalı motorlara ve sıvı yakıt türü yakıt çeşitlerine geçilmektedir.

1.1.3.1.3 Komuta Kontrol Sistemi

Bu grup altında radyo haberleşme ve otopilot bileşenleri ele alınabilir. Hava aracı ve kullanıcı arasında veri alışverişi sağlanması genellikle radyo haberleşme sistemleri ile gerçekleştirilir. Kullanılan haberleşme sisteminin özelliklerine göre hava aracının kontrol edilebilme menzili belirlenmektedir. Bu nedenle oldukça önemli bir alt bileşendir.

Bunun yanı sıra hava otopilot, aracının hareketlerini belirleyen mesajların iletilmesini sağlayan bilgisayar olarak tanımlanabilir. Hava aracının irtifası, hızı, pozisyonu ve rotasının belirlenmesini sağlayan uçuş kontrol birimidir. Bu birim tasarlanan sisteme göre otonom ya da yarı otonom olabilir.

1.1.3.1.4 Faydalı Yük

SHGM tarafından, İHA'nın icra edeceği göreve uygun olarak üzerinde taşıdığı görev sistemleri olarak tanımlanmıştır. Bu tanımdan da anlaşıldığı gibi İHA'larda çok çeşitli faydalı yükler olabilmektedir. Örneğin gözetleme görevi gerçekleştirecek bir İHA için elektro-optik kamera, termal kamera, multispektral veya hiperspektral kameralar faydalı yük olarak tanımlanabilir. Bunun yanı sıra taşıma amacı ile kullanılan İHA'lar için taşıyacağı yük faydalı yük olarak tanımlanabilir ve bu kapasite faydalı yük taşıma kapasitesi olarak adlandırılır. İHA'nın gerçekleştirdiği göreve göre faydalı yük tanımı değişiklik gösterebilmektedir. Faydalı yük örnekleri siren, bomba, can simidi, yemek sepeti, ilk yardım kiti, su, ilaç v.b. gibi çeşitlendirilebilir.

Bu çalışmada kurgulanan uygulama problemleri için birbirinden farklı faydalı yük kullanımı ihtiyacı olduğu görülmektedir. Şehir merkezi keşif/gözetleme uygulamasında insanların mesafesi ya da maske takıp takmadığı inceleneyeceğinden görüntü kalitesi yüksek bir kamera faydalı yük olarak kullanılması gerekecektir. Bunun yanı sıra eğer bir hoparlör ile uyarı mesajı yayınlama ihtiyacı duyulursa burada kullanılacak olan hoparlör de faydalı yük olarak değerlendirilecektir. Diğer uygulamada ise ilaç dağıtımı yapacak olan İHA'nın ilaçları taşıdığı hazne ve hazne içerisinde bulunan ilaç paketleri faydalı yük olarak nitelendirilebilir.

1.1.3.2. Yer Kontrol İstasyonu

Yer Kontrol İstasyonu(YKİ), İHA ile operasyon gerçekleştirebilmek için kullanılan komut merkezi olarak tanımlanabilir. Operatörün, İHA'yı kullanmadan önce görev planı gerçekleştirebilmesini sağlayan bir bilgisayar ve görevi, komutları İHA'ya iletmeyi sağlayan haberleşme altyapısından oluşan bir alt bileşendir. Yer Kontrol İstasyonu operatöre görev planı ve görev icrası gerçekleştirebilmek için bir arayüz sunar. Bu yazılım sayesinde operatör gerçekleştirmek istediği görevi planlayabilir ve İHA üzerinde bulunan otopilota bu görevi aktarabilir. Operatör YKİ üzerinde bulunan yazılım ile uçuş öncesi

kontrol noktaları belirleyerek uçuşu/görevi planlayabilir, uçuş sırasında görüntüyü ve uçuş bilgilerini izleyebilir, uçuş sırasında yeni kontrol noktaları belirleyerek İHA'nın görevini değiştirebilir ve uçuş sonlandırabilir. Operatörün YKİ üzerinden gerçekleştirebileceği kabiliyetler sistemin otonomi seviyesine bağlıdır. Yüksek otonomi seviyesine sahip bir İHA Sistemi'nde kullanıcının uçuş sırasında YKİ kullanmasına gerek olmaması beklenmektedir.

1.1.3.3. Destek Ekipmanları

İHA Sisteminin operasyonu için her zaman destek ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ekipmanlar İHA0 ve İHA1 sınıfı için az sayıda ve küçük boyutlarda olabilir fakat ilerleyen sınıflarda destek ekipmanları oldukça artmakta ve büyük önem arz etmektedir. Kullanım ve bakım kılavuzu, taşıma çantası, test ekipmanları, şarj istasyonu destek ekipmanları arasında yer alan malzemelere örnek olarak verilebilir. Ayrıca bazı sabit kanatlı İHA'lar için kullanılan fırlatma rampaları da destek ekipmanları kapsamına alınabilir.

1.2. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ KULLANIM ALANLARI

Bu uygulamada İHA'ların insani faaliyetler için kullanım senaryoları üzerine iki uygulama örneklendirilmiştir. Bu uygulamaların dışında İHA'ların çok fazla alanda kullanılabildiği görülmektedir.

İnsansız Hava Aracı'nın tanımına uyan ilk araçlar askeri alanlarda hedef uçak olarak kullanılmak üzere 1950'li yıllarda geliştirilmiştir. Daha sonrasında bu uçakların geliştirilerek askeri istihbarat, keşif ve gözetleme amaçlı kullanıldığı sonrasında da taaruz amaçlı geliştirmeler yapıldığı görülmüştür. Günümüzde hala pek çok askeri operasyon için farklı sınıflardaki İHA'lar kullanılmaktadır (Ural, 2018).

2000'li yıllarda ise İHA'lar pek çok sivil alanda da kullanılmaya başlanmıştır. Bu alanların başında tarım uygulamaları gelebilir. Geniş tarım alanlarının ilaçlanmasına yönelik olarak İHA'ların kullanıldığı, piyasada bu uygulama için özel olarak geliştirilmiş pek çok İHA olduğu görülmektedir. Yalnızca ilaçlama değil, görüntü işleme kabiliyetlerinin gelişmesi ile birlikte İHA'lar ile elde edilen kuşbaşı görüntüler üzerinden çalıştırılan yapay zeka algoritmaları ile bölgesel olarak uygulanacak ilaçlama ya da

sulama miktarları optimize edilebilmektedir. Tarım alanında kullanılan İHA'lar faydalı yük olarak tarım ilacı ve sprey mekanizması taşımaktadır.

Günümüzde pil ve yakıt teknolojilerinin gelişmesi ile birlikte taşımacılık alanında da İHA'ların kullanılmaya başlandığı örnekler görülmektedir. Taşımacılık için İHA'ların kullanılması fikri 13 yılında Amazon şirketinin CEO'su olan Jeff Bezos tarafından söylendiğinde bu fikir dünya için çok yeniydi. 2020 itibari ile hala Amazon ya da başka kargo şirketleri son müşteriye İHA ile teslimat sistemine geçmemiş olmasına rağmen farklı taşımacılık örnekleri bulunmaktadır. Afet sonrasında acil yardım kiti dağıtımı, ilaç dağıtımı, kan örneklerinin taşınması gibi farklı sektörlerden örnekler bulunmaktadır.

Keşif gözetleme amacı ile geliştirilen İHA'lar yüksek çözünürlüklü, yüksek kalite görüntü ile çekim yapabilen görüntüleme sistemine sahiptir. İHA'larda görüntü kalitesinin artması ile birlikte film çekimlerinde kullanımını yaygınlaştığı görülmektedir. Aynı zamanda gazetecilik alanında İHA'ların kullanılmaya başlandığı örnekler bulunmaktadır. Keşif gözetleme amacı geliştirilen İHA'ların aynı zamanda trafik yönetiminde kullanıldığı örneklerde sunulmuştur (Garcia-Aunon, Roldán, & Barrientos, 2019).

İHA'ların faydalı yük olarak baz istasyonu taşıması da literatürde bazı örneklerde görülmektedir. Özellikle afet sonrası ihtiyaç olabileceği değerlendirilen bölgelerde anlık iletişim ihtiyacını karşılamak amaçlı baz istasyonu görevi gerçekleştirebilen İHA üzerine çalışmalar bulunmaktadır (Girici & Akarsu, 2019).

Görüldüğü üzere birbirinden çok farklı alanlarda İHA kullanımı söz konusudur. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte daha fazla sektörde farklı uygulamalarda İHA'nın kullanımı yaygınlaşabilecektir.

1.3. OTONOMİ

İnsansız Sistemler için otonomi, sistemin kullanıcı (insan) tarafından atanan görevleri yerine getirmek için algılama, analiz etme, iletişim kurma, planlama, karar verme ve uygulama yeteneği olarak tanımlanmaktadır. (Williams & Scharre, 2015) Otonomi kavramı İHA'lar için oldukça önem arz eden bir terimdir. Otonomi aynı zamanda İHA'ların yaygınlaşmasının arkasındaki en büyük etkenlerden biri olarak görülebilir. Otonomi yeteneği olan İHA'lar kullanım açısından kullanıcılarına kolaylık ve güvenlik

sunmaktadır. Örneğin 1990'lı yıllarda bir model uçak kullanmak için çok fazla sayıda uçuş denemesi yapmak gerekebiliyordu. Oysa şu anda markette sunulan hobi seviyesi İHA'lar en fazla 1 saatlik deneme videosu ile hemen herkesin güvenli ve kolay bir şekilde kullanabilmeye imkan tanımaktadır.

Tanımından da anlaşılacağı üzere bu terimin kesin kalıpları yoktur bu nedenle farklı kaynaklarda farklı şekilde oluşturulan otonomi seviyeleri görülmektedir. Farklı kaynaklarda 4 aşamalı, 8 aşamalı ve 10 aşamalı otonomi seviyeleri bulunmaktadır. Her bir yaklaşım kendisi içerisinde tutarlı olmakla birlikte bu tez için Şekil 2'de verilen US Navy of Naval Research tarafından da kullanılan 6 aşamalı otonomi seviyelendirmesi incelenmiştir.

Otonomi Seviyesi	1	2	3	4	5	6
İnsan Etkinliği						
Makine Etkinliği						
Otomasyon Seviyesi	-	Düşük	Kısmi	Koşullu	Yüksek	Tam
Açıklama	İHA %100 kullanıcı tarafından kontrol edilir.	İHA en az 1 hayati işlevden sorumludur.	İHA aç/tutma işlevlerinden sorumludur, güvenli uçuştan kullanıcı sorumludur.	İHA belirli şartlarda tüm görevleri kendisi yapabilir. Kullanıcı yedek olarak sistemde yer alır.	İHA belirli güvenlik senaryolarına sahiptir. Kullanıcı döngünün dışındadır.	İHA yapay zekaya ve öğrenme yeteneğine sahiptir, kendi uçuşunu planlayabilir.
Engelden Sakınma	-	TESPİT VE BİLDİRİM	SAKINMA	KAÇIŞ		

Şekil 2 - Otonomi Seviyeler

Seviye 1 olarak verilen otonomi seviyesinde sistemin tarafından gerçekleştirilen her türlü aktivite, kullanıcı tarafından başlatılan eylemler neticesinde meydana gelmektedir. Her türlü kontrol kullanıcı tarafından yapılmaktadır.

Seviye 2'de sistemler kullanıcıdan gelen girdilere istinaden bazı işlevleri otomatik olarak gerçekleştirir. Bu seviyeye örnek olarak otomatik vitesli arabalar ele alınabilir; kullanıcının gaza basması sonucu araç vitesi arttırmaya başlar. İHA'larda ise İHA'nın kullanıcıdan aldığı komuta istinaden irtifasını sabit tutar.

Seviye 3 sistemlerde kullanıcıdan İHA'yı yetkilendirmesi ile kullanıcının müdahalesi olmadan motor gücü, irtifası, platform açısı gibi değişkenleri otopilotun ayarlayarak

kullanıcı tarafından belirtilen aktivite gerçekleştirilir. Günümüzde ticari olarak sunulan pek çok İHA’da otonomi seviyesi Seviye 3 olarak ele alınabilir.

Seviye 4 sistemlerde İHA’nın kullanıcı tarafından belirlenen görev tanımı içerisinde görevin başlamasından sonuna kadar görevi tamamlayacak aktiviteleri gerçekleştirebilir. Görev boyunca kullanıcıya bilgi sunar ve kullanıcının müdahalesine olanak sağlar.

Seviye 5 sistemlerde İHA tarafından algılanan durumlara göre gerçekleştirilecek davranışlar belirlidir ve kullanıcı komutu olmaksızın algılanan bilgilere göre sistem tasarlanan aksiyonu gerçekleştirir.

Seviye 6, tam otonom olarak adlandırılan seviyedir. Bu seviyede sistem kullanıcı girdisine ihtiyaç duymadan görev planlayabilme, görevi başlatma ve görevi uygulama kabiliyetine sahiptir.

Günümüzde özellikle ticari piyasada bulunan sistemlerin çoğu Seviye 3 otonomi seviyesine sahiptirler. Otonomi seviyesi hem İHA’da kullanılan otopilot kabilyetlerine, hem İHA’da kullanılan sensörlere, hem de YKİ ve İHA arasındaki iletişimi gerçekleştiren görev kontrol yazılımına bağlıdır.

İHA sistemlerinin günlük hayattaki kullanım alanının artmasının en büyük sebeplerinden birisi ihtiyaç duyulan insan gücünü düşürmesidir. Hem güvenlik, hem maliyet, hem de daha az hata gerçekleşmesi için sistemlerin insan gücü ihtiyacının azalması arzu edilen bir durumdur. Bu nedenle İHA sistemlerinde de yüksek otonomi seviyesine sahip sistemlerin tasarlanması ve geliştirilmesi üzerine yoğun çabalar gerçekleştirilmektedir.

Bölüm 1.2’de belirtilen alanlardan lojistik sektörü ele alacak olursa; otonomi seviyesi 2 olan bir İHA ile belirli bir mahallede yemek dağıtımını gerçekleştirmeye çalışan bir yemek restoranı her bir teslimat gerçekleştiren İHA için en az 1 operatör istihdam etmek durumunda kalır. Oysa Otonomi seviyesi 5 olan bir İHA kullanan restoran her bir paketi İHA’ya yerleştirecek ve adres(koordinat) girdisini yapacak bir eleman istihdam etse yeterli olacaktır. Bu basit örnekte de görüldüğü gibi otonomi seviyesi İHA sisteminin verimliliği ile direkt bağlantılı ve çok önemli bir konudur.

2. KULLANILACAK MATEMATİKSEL MODELLER

2.1. Gezgin Satıcı Problemi Modeli

“The Traveling Salesman Problem” olarak bilinen Gezgin Satıcı Problemi kavramının tam olarak ne zaman ortaya çıktığı bilinmemekle birlikte konu hakkındaki çalışmaların 1930’lu yıllarda Princeton Üniversitesi araştırmacılarından Merrill Flood ve RAND Corporation isimli firması tarafından yapıldığı düşünülmektedir. değerlendirilmektedir (Applegate , Bixby , Chvátal, & Cook, 2006).

“Gezgin Satıcı Problemi (GSP)” kavramı kombinasyonel optimizasyon alanında çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. GSP, belirlenen şehirler (teslimat noktaları) arasında ulaşım sağlanan en kısa yolun bulunması için kullanılan bir optimizasyon problemidir. Problemin tanımlanması literatüre göre gezilecek N şehir sayısı ve şehirlerarası mesafenin girdi olarak verildiği; satıcının da her şehre en az bir kere uğrayarak başlangıç noktasına dönmesi olarak yapılmaktadır (Rao & Hegde, 2015).

Literatürde problemin matematiksel formülasyonu farklı şekillerde gerçekleştirilmektedir. Bu matematiksel modellerden biri aşağıdaki gibidir (Elmas, 2019).

“Kümeler:

n : Müşteri Sayısı

Parametreler:

$c_{i,j}$ = i. Müşteriden j. Müşteriye giderken alınan mesafe

Karar Değişkeni:

$$x_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer araç } i. \text{ köyden sonra } j. \text{ köye gidiyorsa} \\ 0 & \text{Aksi halde} \end{cases}$$

Amaç Fonksiyonu:

$$\min \sum_{i \neq j}^n c_{i,j} x_{i,j} \quad (1)$$

Amaç fonksiyonu ile toplam gidilen mesafenin en küçüklenmesi sağlanır. Yani turun en uygun maliyeti bulunur.

Kısıtlar:

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

$$\sum_{i=1}^n x_{i,j} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

(2.) ve (3.) kısıtlar ile her bir uğraması gerek noktaya sadece bir kere gidilmesi ve gidilen noktadan sadece bir kez çıkılması sağlanır.

$$\sum_{i,j \in S}^n x_{i,j} \leq |S| - 1 \quad S \subset V, 2 \leq |S| \leq n - 2 \quad (4)$$

(4.) kısıt ile noktalar arasında alt tur oluşmasının engellemesi sağlanır. Bu kısıt sayesinde araç tek bir rota üzerinde ilerleyerek başlangıç noktasına geri döner.

$$x_{i,j} \in \{0, 1\} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

(5.) kısıt ile karar değişkenin ikili tam sayı olması sağlanır.

$$i, j = 1, \dots, n \quad i \neq j \quad (6)$$

(6.) kısıt ile karar değişkenlerinin pozitif değer olması sağlanır.” (Elmas, 2019)

Bu model İHA’lar ile belirli alanlarda gözetleme gerçekleştirilecek uygulamalar için çok uygulanabilir. Literatürde özellikle İHA’lar ile son kilometre teslimat yöntemine yönelik uygulamalarda GSP kullanıldığı görülmektedir (Yurek & Ozmutlu, 2018).

2.2. Araç Rotalama Problemi Modeli

1950’li yıllarda çalışılmaya başlanan Araç Rotalama Problemi (ARP) (*Vehicle Routing Problem*) oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Araç Rotalama Problemi (ARP)

kavramı ilk olarak 1959 yılında “The Truck Dispatching Problem” başlıklı makalede George Dantzig and John Ramser tarafından anılmıştır. Bu çalışmada petrol taşıma araçları filosunun benzin istasyonları ile ana depo arasındaki optimum rotayı oluşturmak hedeflenmiştir (G. B. Dantzig, 1959). İlerleyen dönemlerde konu üzerine çalışmalar yoğunlaşmış ve bu çalışmalardan birini yapan Clarke ve Wright 1964 yılında klasik tasarruf metodunu önererek, Dantzig ve Ramser’in metodunu geliştirmişlerdir.

ARP en basit şekilde tanımlandığında bir merkezden çıkan ve farklı noktalarda bulunan talep noktalarına gidecek araç filosundaki araçların her biri için oluşturulacak rotanın toplam mesafeyi en az yapacak şekilde bulunmasıdır (Eryavuz & Gencer, 2001).

Bu problem çok farklı sektörlere ve farklı problem senaryolarına uyarlanabileceği için zamanla çok farklı ARP yöntemi geliştirilmiştir. Problemlerde oluşturulan kısıtlara göre geri toplamalı araç rotalama problemi, dağıtım toplamalı araç rotalama problemi, zaman pencereli araç rotalama problemi, kapasite kısıtlı araç rotalama problemi, mesafe kısıtlı problemi, çok depolu önce dağıt sonra topla araç rotalama problemi gibi daha çeşitlendirilebilecek farklı yöntemler mevcuttur. Bu çalışmada İHA’lar ile İlaç Dağıtım Uygulaması’nda kapasite kısıtlı araç rotalama problemi kullanılmıştır.

Kapasite kısıtlı araç rotalama problemlerinin diğer problem türlerine göre en temel farkı her bir aracın belirli bir kapasitesi olması ve bu kapasitenin her bir araçta eş değerde olmasıdır. Problemde araçlar belirli bir merkez depodan harekete başladığı ve talepleri önceden belirli olan noktalara uğrayarak merkeze geri döndüğü kabul edilmektedir. Problemin amacı sevkiyatı gerçekleştirirken toplam katedilen mesafenin en aza indirilmesidir (Keskintürk, Topuk, & Özyeşil, 2015).

Literatürde problemin matematiksel formülasyonu farklı şekillerde gerçekleştirilmektedir. Bu matematiksel modellerden biri aşağıdaki gibidir (Elmas, 2019).

“Kümeler:

N : Müşteri Sayısı

K : Araç Sayısı

C : Araç Kapasitesi

Parametreler:

$c_{i,j}$ = i. Müşteriden j. Müşteriye giderken alınan seyahat süresi

Karar Değişkeni:

$$x_{i,j,k} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } k. \text{ araç } i. \text{ köyden sonra } j. \text{ köye gidiyorsa} \\ 0 & \text{Aksi halde} \end{cases}$$

Amaç fonksiyonu:

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{ij \in A} c_{i,j} x_{i,j,k} \quad (7)$$

Modelin amaç fonksiyonu ile toplam alınan yolun en küçüklenmesidir.

Kısıtlar:

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in \Delta^+ i} x_{i,j,k} = 1 \quad \forall k \in K \quad (8)$$

(2.) kısıt ile her müşterinin talebinin sadece bir araç ile karşılanması sağlanır. Böylelikle bir müşterini birden fazla rota içinde yer alması önlenmiştir.

$$\sum_{j \in (0)} x_{0jk} = 1 \quad \forall k \in K \quad (9)$$

(3.) kısıt ile her bir depodan çıkan aracın sadece bir müşteriye gönderilmesi sağlanır. Bu sayede araçlar ilk çıkış noktası olarak birçok müşteriye gidemez.

$$\sum_{i \in \Delta^- j=0} x_{i,j,k} - \sum_{i \in \Delta^+ j} x_{i,j,k} = 0 \quad \forall k \in K, i \in N \quad (10)$$

(4.) kısıt ile talep karşılamak üzere müşteriye gitmiş olan her bir aracın müşteriden çıkması sağlanır. Böylece hiçbir araç rota üzerinde durmayacak seyahat etmeye devam edecektir.

$$\sum_{i \in \Delta^-(n+1)}^{i \in \Delta^-(j)} X_{i,n+1,k} = 1 \quad \forall k \in K \quad (11)$$

(5.) kısıt ile her aracın seyahatin sonunda bir depoya geri dönmesi sağlanır. Bu sayede rotaların depo dışında herhangi bir seyahat noktasında son bulması önlenir.

$$\sum_{i \in N}^{i \in \Delta^-(n+1)} d_i \sum_{j \in \Delta^+(i)} X_{i,j,k} \leq c \quad \forall k \in K \quad (12)$$

(6.) kısıt ile araç kapasitesinin müşteri taleplerinden büyük olması sağlanır. Bu sayede kapasitelerin tam karşılanması sağlanır.

$$X_{i,j,k} \geq 0 \quad \forall k \in K, (i,j) \in A \quad (13)$$

(7.) kısıt ile karar değişkenlerinin pozitif değer olması sağlanır.

$$X_{i,j,k} \in (0, 1) \quad \forall k \in K, (i,j) \in A \quad (14)$$

(8.) kısıt ile karar değişkeninin ikili tam sayı olması sağlanır.” (Elmas, 2019)

Bu tezde yer verilen İHA'lar ile İlaç Dağıtım Uygulaması'nda İHA'lar taşıma kapasitesi belli araçlar ve ilaç dağıtımını gerçekleştirecek noktalar da talebi belirli müşteriler olarak belirlenmiştir.

2.3. Küme Örtüleme Modeli

Küme örtüleme problemi (*Set Covering Problem*) farklı sektörlerde ve uygulamalarda sık sık kullanılan bir yöntemdir. Endüstriyel uygulamalarda programlama, üretim, hizmet, planlama ve yerleştirme konularındaki problemlerinin çözümleri için kullanılmaktadır.

Bu problem modelinde elamanlar kümesinin bütün elemanlarını kapsayacak şekilde en az maliyet oluşturacak alt kümelere ayrılması işleminin gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Literatürde problemin matematiksel formülasyonu farklı şekillerde gerçekleştirilmektedir. Bu matematiksel modellerden biri aşağıdaki gibidir:

$$\text{Min} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} d_{ij} x_{ij} \quad (15)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j \in N} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in N \quad (16)$$

$$\sum_{j \in N} y_j = nrDrone \quad (17)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ij} \leq maxParsel. y_j \quad \forall j \in N \quad (18)$$

$$\sum_{i \in N} p_i x_{ij} \leq maxP \quad \forall j \in N \quad (19)$$

$$x_{ij} \geq 0, binary \quad \forall j \in N, \forall i \in N \quad (20)$$

$$y_j \geq 0, binary \quad \forall j \in N \quad (21)$$

Bu model bu tezde yer alan Şehir Keşif Gözetleme Uygulaması'nda kullanılacak İHA sayısının belirlenmesi ve oluşturulacak alt rotalama kümelerini belirlemek için kullanılmaktadır. Küme örtüleme modeli kullanılarak talep olan bölgeler kümesi alt kümelere ayrıştırılmış ve bu alt kümeler içerisinde gezgin satıcı problemi uygulanarak çözüm elde edilmiştir.

3. PROBLEMİN TANIMLANMASI VE LİTERATÜR TARAMASI

3.1. PROBLEM TANIMLAMA

İnsansız Hava Araçlarının geniş kullanım alanlarından biri afet yönetim uygulamaları, sağlık lojistiği gibi insani uygulamalardır. Bu uygulamalarda genellikle birden fazla İHA kullanılmaktadır. Birden fazla İHA kullanımında her bir İHA için bir operatör görevlendirilmesi hem maliyetli hem de hata olasılığını arttıran bir durumdur. Bu nedenle birden fazla İHA kullanılan görev senaryolarında girdilere istinaden İHA'ların rotalarının belirlenmesi ve otonom İHA'ların belirlenen rotalara göre görevleri gerçekleştirmesi ihtiyacı oluşmaktadır. İnsan hatasının olasılığını azaltmak ve efektif zaman yönetimi yapabilmek adına İHA rotalarının belirlenmesi problemi üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda mevcut pandemi koşulları göz önünde bulundurularak, bu koşullara uygun iki uygulama örneği kurgulanmıştır.

11 Mart 2020 tarihinde Dünya Sağlık Örgütü tarafından Covid-19 virüsü sebebiyle pandemi ilan edilmiştir. Bu tarihten itibaren, hatta bazı ülkeler daha öncesinde, dünyada çok çeşitli önlemler alınmaya başlamış ve insanların sosyal yaşantılarında çok büyük değişimler olmuştur.

Virüsün solunum yolu ile yayılmasından ötürü tavsiye edilen önlemlerin en başında “sosyal mesafe”ye dikkat edilmesi gelmektedir. Başka bir deyişle insanların birbirleri arasında açık alanda dahi en az 2 metre kadar mesafe olması tavsiye edilmektedir. Bunun yanı sıra maske kullanımı pek çok hükümet tarafından zorunlu hale getirilmiştir ve takmayanlar için cezai uygulamalar başlatılmıştır. Öte yandan hastalığın tespiti ve tedavi uygulamaları konusunda da çok farklı uygulamalar hayata geçirilerek hastalığın tespiti için insanlar PCR testi için test merkezlerine ya da belirli hastanelere yönlendirilmiştir. Türkiye’de test sonuçları ortalama 24 saat içerisinde hastaya bildirilmektedir. Test sonucu pozitif çıkan hastaların şikayetleri çok yoğun değilse evde kalmaları ve kendilerini karantinaya almaları tavsiye edilmektedir. Bu aşamadan sonraki uygulamada filyasyon ekipleri tarafından en kısa zaman içerisinde test sonucu pozitif olan kişinin adresine giderek kendisine tedavi için gerekli ilaçları iletmektedir. Çalışma kapsamında kurgulanan problemlerden ilki pandemi koşullarında günlük hayatımızın bir parçası olan bu faaliyetlerin İHA’lar ile gerçekleştirilmesi üzerinedir.

3.1.1. Şehir Merkezi Keşif/Gözetleme Uygulaması

Son derece önemli olan maske ve mesafe kontrolü ile ilgili maliyet etkin ve hızlı çözümler üretmek bütün dünya için önemli konulardır. Bu noktadan yola çıkarak şehirlerin yoğun bölgelerinde İHA'ların keşif gözetleme faaliyeti gerçekleştirerek insanların maske takıp takmadığını ve mesafe kurallarına uyup uymadığını denetlemek üzere bir İHA merkezi belirlenmesi ve İHA'lar için rota optimizasyonu gerçekleştirilmesi gerekliliği olduğu değerlendirilmiştir.

Pandemi ile mücadele döneminde pek çok farklı ülkede farklı robot uygulamaları denenmiştir. Toplum sağlığına yönelik olarak gerçekleşen robot uygulamalarının başında karantina önlemlerinin kontrolü gelmektedir. Çoğunlukla hava araçlarının kullanıldığı kontrollerde insanlar arasındaki mesafeler, toplu grupların tespiti gibi görevler gerçekleştirilmiştir (Murphy, Gandudi, & Adams, 2020). Bu uygulamalar için kullanılan İHA'ların genellikle hobi seviyesi olduğu ifade edilmektedir. Bu sebeple her görev için İHA kontrol etmeyi bilen bir operatör ihtiyacı ortaya çıktığı görülmüştür. Oysa kullanıcı tarafından kontrol edilecek bölgelerin belirtilmesi ve otonomi seviyesi yüksek İHA'ların havada devriye görevini gerçekleştirmesi ile verimliliği arttırmak mümkündür. Otonomi seviyesinin yüksek olduğu ve kullanıcıya detaylı görev planı gerçekleştirme imkanı sağlayan bir görev kontrol yazılımı ile pandemi ile mücadele sürecinde toplum sağlığına yönelik olarak karantina önlemlerinde İHA'ların çok daha verimli bir şekilde kullanılacağı değerlendirilmiştir. Bu operasyonlar için kullanıcının gözetlenecek bölge girdisi sonrasında İHA'nın rota belirleme, görevi gerçekleştirme ve eve dönme aktivitelerini otonom olarak gerçekleştirmesi büyük önem arz etmektedir.

İlk bölümde de belirtildiği gibi insansız hava araçları pek çok keşif gözetleme görevi için kullanılmaktadır. Bu alandaki kullanımlar arttıkça İHA'ların bu görevleri otonom olarak yapma gereksinimi de ortaya çıkmaktadır. Daha açık bir ifadeyle belirli bir alanda keşif gözetleme yapılacak bölgelerin belirlenmesi ve İHA'ların otonom olarak bu alanlarda görev gerçekleştirmesi ihtiyacı mevcuttur. Bu ihtiyaç devriye görevi gerçekleştirilmek istediğinde daha fazla ortaya çıkmaktadır ve otonom çözümler verimliliği oldukça arttırmaktadır.

İHA'nın bir devlet görevlisi tarafından uzaktan kumanda ile kontrol edilerek kullanılması ve görevlinin görüntü üzerinden kurallara uyulup uyulmadığını gözlemlenmesi yaygın bir şekilde uygulanan yöntemdir. Bunun yerine otonomi seviyesi yüksek bir İHA sistemi ile

tek bir görevli tarafından birden fazla İHA'nın görev yapmasına imkan sağlayacak ve sürekli gözetleme gerçekleştirme ihtiyacı olmayacak bir sistem tasarlanabilir. Bu sistemde kullanıcının Yer Kontrol İstasyonu üzerinden gözetleme gerçekleştirilecek alanları belirlemesinin ardından, İHA'ların rota optimizasyonu gerçekleştirilerek görev paylaşımı gerçekleştirilmesi ve gözetleme görevinin tamamlayarak belirlenen noktaya iniş gerçekleştirilmesi sağlanmalıdır. Aynı zamanda sistemde kullanılan İHA'larda gelişmiş görüntü işleme kabiliyetleri kullanılarak gözetleme gerçekleştirdiği bölgede insanlar arasındaki mesafeyi ölçebilmek ve belirlenen mesafeden daha yakın mesafede duran kişiler için İHA üzerinde bulunan bir megafon ile uyarı yapabilmek mümkündür.

Bu problemin örnek uygulaması için Avrupa'nın kalabalık şehirlerinden biri olan Münih şehri seçilmiştir. Şehir merkezinde belirlenen bölgede her biri 0,16 km² olan 64 kare bölgeye parsellenmiştir. Şehir içerisinde bulunan gözetleme bölgelerinin daha rahat belirlenebilmesi, gözetlenen bölgenin tespiti ve İHA'lar arası görev paylaşımı yapılabilmesi adına şehir merkezinde belirlenen bölge parsellere ayrılmıştır.

Belirlenen bölge içerisinde metro çıkışları, meydanlar ve şehrin kalabalık olabilecek ikonik ve ticari bölgeleri işaretlenmiştir. Bu işaretlenen bölgeler için farklı sürelerde gözetleme ihtiyacı olacağı öngörülmüştür. Metro giriş-çıkışları kalabalık ama akıcı bir yoğunluk olacağı düşünülerek her bir görev turunda 5 dakika gözetlemenin yeterli olacağı değerlendirilmiştir. Meydanlar için ise daha uzun süre gözetleme ihtiyacı olabileceği göz önünde bulundurularak her bir turda 7,5 dakika gözetleme ihtiyacı belirlenmiştir. Kalabalık olabilecek ikonik ve ticari bölgeler en yoğun gözetleme ihtiyacı olan bölgeler olarak belirlenmiş ve 12,5 dakikalık gözetleme ihtiyacı olacağı öngörülmüştür. Bu süreler bu örnek problem için kurgulanmış olup başka bir senaryo için uyarlanabilir niteliktedir.

Örnek uygulamada 7 adet İHA'nın belirlenen gözetleme ihtiyacını karşılamak üzere hangi rotayı izlemesi gerektiği belirlenmeye çalışılmıştır. Bu rota oluşturma işlemi için belirlenen kalkış noktası olarak şehrin kuzey, güney, doğu ve batı noktalarında kalkış noktaları belirlenmiştir. Problemin sonucunda hangi noktada buluna kalkış noktasının İHA'ların görev gerçekleştirme süresi açısından daha uygun olacağının belirlenmesi hedeflenmektedir.

3.1.2. İlaç Dağıtım Uygulaması

Pandemi ile birlikte insanlık kısıtlı kaynaklar ile anlık taleplerin karşılanmasına yönelik zorlu bir sınavdan geçmiştir ve geçmeye devam etmektedir. Pandeminin başlarında Covid-19 hastaları için ilaçların bulunması ve doğru noktalara sevk edilmesi konusunda zorlu dönemler yaşanmıştır. Pandemi gibi beklenmedik durumlarda kaynakların ara dağıtım noktalarında stoklanmasından ziyade günlük taleplere göre merkezden direk son kullanıcılara ya da ara dağıtım noktalarına aktarılması gerekebilmektedir. Covid-19 pandemisinde bunu ilaç tedariki ile örneklendirmek mümkün olabilir. Kısıtlı ilaç kaynağını doğru kullanabilmek adına merkez şehir hastanelerinde depolanan ilaçların günlük talebe istinaden günlük olarak mahallelere sevk edilebileceği değerlendirilmiştir. Bu işlem için coğrafi engeller sebebi ile her zaman araç kullanılabilecek imkanlar olmayabilir, ya da şehir merkezlerinde dahi yoğun trafik sebebi ile araçlar sevkiyat gerçekleştirmek beklenmedik gecikmelere sebep olabilir. Bu ilaç tedarikini sağlayabilmek adına alternatif olarak İHA'ların kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

İHA alternatif çözümünün yapılabilirliğini göstermek adına Türkiye'nin kalabalık şehirlerinden biri olan Ankara'nın en yoğun ilçesi Çankaya'da bir örnek uygulama gerçekleştirilmiştir. İlaçların Ankara Şehir Hastanesinde bulunduğu kabul edilmiş veburası merkez nokta olarak belirlenmiştir. İHA'ların ilaçlar yüklenerek bu merkezden kalkış yaptığı ve bütün ilaçları talep noktalarına bıraktıktan sonra yine bu merkeze döndüğü kabul edilmiştir. Çankaya ilçesinin 117 mahallesinin koordinatlarını belirlemek için mahalle muhtarlıklarının konumu alınmıştır ve teslimatların bu noktaya yapılacağı öngörülmüştür. Talep sayısını belirlemek için 20 Nisan 2021 tarihinde Türkiye genelinde gözlemlenen 61,973 günlük vaka sayısı Türkiye'nin toplam nüfusuna bölünmüştür. Dağılım eşit olduğu varsayımı ile her mahallenin nüfusu bu oran ile çarpılarak mahallelerdeki günlük vaka sayısı belirlenmiştir. Bu vaka sayısına göre mahallenin ilaç talep sayısı belirlenmiştir. Bu bilgiler ışığında bütün hastalara yetecek kadar ilacın Ankara Şehir Hastanesinden muhtarlıklara teslim edilmesi için optimal yolun bulunması üzerine örnek uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamanın çözümünde sezgisel yöntem temelli Clarke ve Wrigth algoritmasını çalıştıran hazır VRP Solver yazılımı kullanılmıştır.

Bunun yanı sıra tedarik zincirini tamamlamak adına İHA'lar ile mahallelerde toplanan ara dağıtım noktalarından hastaların evlerine ilaçların ulaştırılmasının da bir ihtiyaç olduğu değerlendirilmektedir. Pandemi döneminde ilaç, test dağıtımı/toplanması sıkça

gündeme gelen çok fazla iş gücü aktarılan alanlardan biridir. Virüs ile mücadelede hasta ya da temaslı olan kişilerin mümkünse evlerinde karantina altında olması ve sokağa çıkmaması virüs yayılımının kontrolü için oldukça önemlidir. Bu nedenle dünyanın farklı ülkelerinde insanların evlerinden çıkmadan test yaptırması ya da ilaçlarını alabilmesi için filyasyon ekipleri oluşturulmuştur. Bu ekipler belirlenen adreslere giderek kişilere ilaç temini gerçekleştirmektedir. Filyasyon ekipleri tarafından ilaç dağıtılması yerine daha hızlı ve insanlar arası temasın daha az olduğu bir ilaç dağıtım yöntemi belirlenmesi ihtiyaç olduğu değerlendirilmiştir.

Bu noktada medikal ürünlerin taşınması için Çin ve Kanada gibi bazı ülkelerde İHA'ların kullanıldığı örnekler bulunmaktadır. Gözetleme konusunda olduğu gibi İHA'lar ile ilaç dağıtım/toplama konusunda da otonomi seviyesi operasyonunun verimliliğini belirlemektedir. Bu nedenle adreslerin belirlenmesinden sonra İHA'nın rota belirleme, teslimatı gerçekleştirme ve eve dönüş görevlerini otonom olarak gerçekleştirmesi büyük önem arz etmektedir.

Fakat günümüzdeki mevcut teknoloji ve altyapı ile İHA'ların özellikle apartman dairelerine teslimat yapmaları pek mümkün değildir. Yakın gelecekte şehirlerin ve binaların İHA'lar ile teslimat yapılabilecek şekilde tasarlanabileceği değerlendirilmektedir. Günümüzde olmasa bile bu altyapının ileride olabileceği varsayımıyla bu uygulama bir adım daha ilerletilmiştir. Mahallelerde bulunan ara dağıtım merkezlerinden o mahallede bulunan hastaların evlerine teslimat yapılabileceğine yönelik bir senaryo kurgulanmış ve senaryoda İHA'lar için optimal rota hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamanın çözümünde de yine sezgisel yöntem temelli Clarke ve Wriğth algoritmasını çalıştıran hazır VRP Solver yazılımı kullanılmıştır. Yazılımın içerisinde bulunan sezgisel yöntem seçenekleri farklı kombinasyonlar ile kullanılarak sezgisel yöntemlerin sonuca etkisi de gözlemlenmiştir.

3.2. LİTERATÜR TARAMASI

İnsansız Hava Araçlarının rotalamasına yönelik literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Literatürde bulunan İHA rotalama çalışmaları incelenmiştir. Aynı zamanda bu tezde gerçekleştirilen uygulamalar gibi toplum yararına insani uygulamalarda İHA rotalamasını konu alan çalışmalar incelenmiştir. Pandemi döneminde İHA'lar ile rotalama uygulamaları gerçekleştiren iki adet çalışma incelenmiştir. Bu literatür taramasında

kaynaklar incelenmiştir. İncelenen kaynaklar aşağıdaki Tablo 3’de verilmiş ve bunlara ilişkin kısa açıklamalar paragraflar halinde verilmiştir.

Gezgin satıcı probleminin bir uyarlaması olarak değerlendirilebilen Araç Rotalama Problemi kavramı literatürde ilk olarak 1959 yılında George Dantzig ve John Ramser tarafından “The Truck Dispatching Problem” başlıklı makalede yer verilmiştir. Bu makaleden sonra araç rotalama probleminin çok fazla uygulaması ve uyarlaması hayata geçirilmiştir.

Bu uygulamalar içerisinde İHA’lar için uygulamalara çok fazla rastlanmamaktadır. İHA’lar için ARP uygulamalarının çok fazla olmaması ARP’lerin iki boyut için uygulanabilir olması; fakat üç boyutlu uygulamaların ARP için ek zorluklar oluşturduğu belirtilmiştir. İHA’lar problemin içerisine girdiğinde yükseklik kavramı da problemin önemli bir parçası olduğundan ARP bilimsel ARP çalışmaları içerisinde İHA’ları konu alan çok fazla çalışma bulunmamaktadır. İHA’ların rotalamaları üzerine Gezgin Satıcı Problemi ve Araç Rotalama Problemi teknikleri kullanılan çalışmaların özellikle 1990’lı yılların sonuna doğru yaygınlaştığı ve 2000’li yıllarda fark edilir şekilde arttığı görülmektedir (Ercan & Gencer, 2013).

Bu çalışmaların ilklerinden biri Joel L. Ryan ve arkadaşları tarafından 1998 yılında yayımlanan “Reactive Tabu Search in unmanned aerial reconnaissance simulations” isimli makalede birde fazla İHA’nın rotalaması ile ilgili olarak problemi Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi olarak ele almışlar ve yasaklı arama algoritması kullanarak çözüm oluşturmuşlardır. Çalışmada 11 hava aracının farklı zamanlarda uygun olan 40 hedefe uğrayacağı optimum rotanın bulunması ele alınmıştır (Ryan, Bailey, Moore, & Carlton, 1998).

2000’li yıllarda İHA’ların rotalamasına yönelik çalışmaların sayısında artış olduğu gözlemlenmiştir ve bu alandaki çalışmalar çeşitlenmiştir. Bu çalışmalardan biri olan Scott Bortoff’un “ Path Planning for UAVs” isimli makalesinde düşman hattında seyrüsefer gerçekleştiren İHA’ların düşman radarına yakalanmadan ilerlemesi gereken rotanın bulunması üzerine çalışılmıştır. Diferansiyel denklemler ile kurgulanan çözümde optimal sonuca ulaşılmıştır (Bortoff, 2000).

Tablo 3 - İHA Rotalama Konulu Çalışmalar

Çalışmanın Adı	Çalışmanın Yazarları	Çalışmanın Yılı	Çalışmanın Konusu
The Truck Dispatching Problem	George Dantzig Ve John Ramser	1959	ARP
İNSANSIZ HAVA SİSTEMLERİ ROTA PLANLAMASI DİNAMİK ÇÖZÜM METOTLARI VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	Ercan, C., & Gencer, C.	2013	İHA Rotalama
Reactive Tabu Search İn Unmanned Aerial Reconnaissance Simulations	Ryan, Bailey, Moore, & Carlton	1998	İHA Rotalama
Path Planning For Uavs	Scott A Bortoff	2000	İHA Rotalama
The Unmanned Aerial Vehicle Routing And Trajectory Optimisation Problem, A Taxonomic Review	Walton Pereira Coutinho, Maria Battarrab, Jörg Fliegea	2018	İHA Rotalama Literatür Taraması
Unmanned Aerial Vehicles/Drones İn Vehicle Routing Problems: A Literature Review	Viloria, Solano-Charris, Muñoz-Villamizar, & Montoya-Torres	2020	İHA Rotalama Literatür Taraması
A Multi-Objective Green UAV Routing Problem	Bruno N. Coelho Vd.	2017	İHA Rotalama
Transporting COVID-19 Testing Specimens By Routing Unmanned Aerial Vehicles With Range And Payload Constraints: The Case Of Istanbul	Omer Ozkan & Omer Atli	2021	Pandemi Ve Rotalama
Dynamic UAV-Based Traffic Monitoring Under Uncertainty As A Stochastic Arc-Inventory Routing Policy	Joseph Y.J. Chow	2016	İHA Rotalama
Flying Robots For Safe And Efficient Parcel Delivery Within The COVID-19 Pandemic	M. Patchou, B. Sliwa And C. Wietfeld	2021	Pandemi Ve Rotalama
Uavs Path Planning Architecture For Effective Medical Emergency Response İn Future Networks	Sara Imran Khan Vd.	2021	İHA Rotalama Ve İnsani Uygulamalar

Optimization Of Drone Routing For Humanitarian Applications	Thomas LAMBERT	2018	İHA Rotalama Ve İnsani Uygulamalar
The Use Of Uavs In Humanitarian Relief: An Application Of POMDP-Based Methodology For Finding Victims	Raissa Zurli Bittencourt Bravo Vd.	2018	İHA Rotalama Ve İnsani Uygulamalar
Drone Delivery Models For Healthcare	Judy Scott, Carlton Scott	2017	İHA Rotalama Ve İnsani Uygulamalar
A Drone Fleet Model For Last-Mile Distribution In Disaster Relief Operations	Boualem Rabta, Christian Wankmüller, Gerald Reiner,	2018	İHA Rotalama Ve İnsani Uygulamalar
Drone-Aided Routing: A Literature Review	Giusy Macrina Vd.	2020	İHA Rotalama
Vehicle Routing Problems For Drone Delivery	K. Dorling, J. Heinrichs,	2017	İHA Rotalama
Future Directions In Drone Routing Research	Poikonen S, Campbell JF	2021	İHA Rotalama
An Optimization-Driven Dynamic Vehicle Routing Algorithm For On-Demand Meal Delivery Using Drones	Yanchao Liu	2019	İHA Rotalama
Optimal Delivery Routing With Wider Drone-Delivery Areas Along A Shorter Truck-Route	Yong Sik Chang, Hyun Jung Lee,	2018	İHA Rotalama
Applications And Research Avenues For Drone-Based Models In Logistics: A Classification And Review	Mohammad Moshref-Javadi, Matthias Winkenbach	2021	İHA Rotalama
Vehicle Routing Problem Instances: Application To Multi-UAV Mission Planning	Faied, Mariam & Mostafa, Ahmed & Girard, Anouck	2010	İHA Rotalama
UAV Scheduling Via The Vehicle Routing Problem With Time Windows (Preprint)	Weinstein, Amanda & Schumacher, Corey	2007	İHA Rotalama

Coutinho ve arkadaşları tarafından 2018 yılında yayımlanan “The unmanned aerial vehicle routing and trajectory optimisation problem, a taxonomic review” isimli makalede İHA’lar ile rotalama uygulamaları hakkında çok detaylı bir literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Bu literatür taramasında da görüleceği üzere İHA’ların rotalaması üzerine yayımlanan makalelerin sayısı 2003 yılından sonra katlanarak hızla artmaktadır. Bu artıştan da bu konunun ne kadar yaygınlaştığı ve literatürde ne kadar fazla yer kapladığı görülmektedir. Çalışmaya göre 2010 ve 2016 yılları arasında yayımlanan 70 makale incelendiğinde İHA rotalama ve yol planlaması problemlerinde sezgisel, metasezgisel ve karışık tam sayılı lineer programlama kullanımının %50 civarında olduğu görülmektedir (Coutinho, Battarra, & Fliege, 2018).

Viloria ve arkadaşları tarafından 2020 yılında International Transactions in Operational Research isimli dergide yayımlanan “Unmanned aerial vehicles/drones in vehicle routing problems:a literature review” isimli makalede İHA rotalamasına ilişkin 2005 ve 2019 yılları arasında yayımlanan 79 yayım incelenmiştir. Bu incelemede görüldüğü üzere çalışmaların %49’u gözetleme / bilgi toplama uygulamalarına yönelik, %41’i ise paket teslimatına yönelik uygulamalara yöneliktir. Bu yayımların %50’sinde amaç olarak süre faktörü belirlenmiştir. İncelenen yayımların yaklaşık %50’sinde batarya kapasitesi yani uçuş süresi kısıt olarak kullanılmıştır. Literatür taramasının sonuç kısmında yer verilen bir ifadeye göre medikal ürünlerin taşınması gibi insani uygulamalarda araştırma fırsatı olduğu belirtilmiştir (Viloria, Solano-Charris, Muñoz-Villamizar, & Montoya-Torres, 2020).

Bruno Coelho ve arkadaşları tarafından şehir içerisinde İHA sürüleri ile kargo toplama ve dağıtımını gerçekleştirmek üzere rotalama problemi üzerinde çalışılmıştır. Çalışmada toplam mesafe, İHA’ların maksimum hızı, kullanılan İHA sayısı, paketlerin dağıtım süresi, 1 paket için harcanan ortalama süre’nin minimize edilmesi ve görev sonunda kalan batarya kapasitesinin maksimize edilmesi amaç fonksiyonları ile senaryo kurgulanmış ve çözüm geliştirilmiştir (Coelho, ve diğerleri, 2017).

Ömer Özkan ve Ömer Atlı tarafından 2021 yılının Mart ayında yayımlanan çalışmada Covid-19 pandemisi döneminde test örneklerinin hastanelerden test merkezlerine İHA’lar ile taşınması sırasında toplam mesafeyi ve kullanılan İHA sayısını en aza indirmek üzerine uygulama yapılmıştır. Gerçekleştirilen uygulamada İstanbul’da bulunan 219

hastaneden, 23 test merkezine 25,000 Covid-19 test örneğinin taşınması üzerine çalışılmıştır (Ozkan & Atli , 2021).

Joseph Chow tarafından yayımlanan çalışmada İHA'ların yoğun kullanımlarından biri olan trafik yönetimi için trafik gözetlemesi ele alınmıştır. Çalışmada trafiğin yoğun olduğu bölgelere gözetleme görevini gerçekleştirecek İHA'ların yerleştirilmesi için çözümler geliştirilmiştir. Çalışma esnasında gerçek zamanlı, değişken veriler ve talepler üzerinde çalışılmış ve buna göre algoritma geliştirilmiştir (Joseph Y.J. Chow, 2016).

“Flying Robots for Safe and Efficient Parcel Delivery Within the COVID-19 Pandemic” isimli çalışmada Manuel Patchou ve arkadaşları Covid-19 döneminde insanlar arası teması azaltmak, kapasiteyi arttırmak, kritik malzemelerin kısa sürede taşınması ve sürdürülebilir iletişim amaçları ile kara ve hava araçları ile hibrit olarak tasarlanmış bir teslimat zinciri oluşturmuştur. Gerçekleştirilen çalışmada kara araçları ve hava araçları ile pandemi döneminde gerçekleştirilecek teslimatlar için sistem geliştirilmiştir (Patchou, Sliwa, & Wietfeld, 2021).

Sara Imran Khan ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada hastanın telefon sağlık durumunu bildirmesi sonucunda en yakında bulunan hastaneden ilgili ilaçların bir İHA'ya yüklenere hastaya teslim edilmesi senaryonu üzerine çalışılmıştır. Çalışmada, Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi, Karınca Koloni Optimizasyonu ve Generik Algoritma kullanılarak toplam yolu minimize edecek rota oluşturulması amaçlanmıştır (Sara Imran Khan, 2021).

Lambert tarafından gerçekleştirilen çalışmada fırtına, hortum, kasırga, deprem gibi çok fazla doğal afetin yaşandığı Haiti'de afet sonrası için insani yardım uygulamalarında gözetleme görevi yapacak İHA sayısını en aza indirecek ve bütün talebi karşılayacak en az sürede tamamlanacak rotanın bulunması üzerinde çalışılmıştır (Lambert, 2018).

2018 yılında gerçekleştirilen çalışmada Bravo ve arkadaşları afet sonrası, afet bölgelerindeki afetzedelerin İHA'lar ile tespitinin gerçekleştirilmesine yönelik bir uygulama gerçekleştirip yayınlamıştır. Çalışmada Brezilya'da bir kasırga, Güney Sudan'da mülteci kampı ve Japonya'da nükleer felaket sonrasında örnek uygulamalarda çözümler oluşturulmuştur (Bravo, Leiras, & Oliveira, 2018).

Judy Scott ve Carlton Scott tarafından 2017 yılından yayımlanan çalışmada İHA'lar ile medikal ürünlerin lojistiği üzerine uygulama ve çözüm geliştirilmiştir. Gerçekleştirilen uygulamalarda kara araçları ve İHA'lar ile hibrit lojistik uygulamalarında rotalama çözümleri oluşturulmuştur. Oluşturulan çözümlerin medikal ürünlerin lojistiği gibi insani uygulamalarda kullanılabileceği çalışmada belirtilmiştir (Scott & Scott, 2017).

Rabta ve arkadaşlarının çalışmasında İHA'ların afet noktalarında ilaç, aşı, su dağıtımı gibi görevlerde kullanılabileceğini belirtmiştir. Çalışmada taleplere göre bir depodan talep noktalarına en kısa mesafeyi kat edecek şekilde doğrusal programlama yöntemi ile İHA'lar için rotalar oluşturulmuştur (Boualem Rabta, 2018).

Macrina ve arkadaşları tarafından 2020 yılında gerçekleştirilen bir literatür taramasında İHA'lar ile rotalama problemleri 4 alt başlığa ayrılmıştır: İHA'lar ile GSP (Tek tır – Çoklu İHA), İHA'lar ile ARP (Çoklu tır – Çoklu İHA), İHA Teslimat Problemi (Çoklu İHA), İHA'lar ile taşıyıcı araç (Tek ya da çoklu tır ve İHA). Çalışmada son yıllarda İHA'ların rotalamasını konu alan çalışma sayısında hızlı bir yükseliş olduğu görülmektedir (Macrina, Pugliese, Guerriero, & Laporte, 2020).

Dorling ve diğerleri tarafından yayımlanan çalışmada İHA'lar ile dağıtım gerçekleştirilen uygulamalarda en uygun rotanın oluşturulması esnasında belirli bir zaman içerisindeki teslimatın maliyetini minimize etmek ve belirli bir bütçe içerisinde toplam teslimat süresini minimize etmek üzerine iki çözüm sunulmuştur. Çalışma esnasında İHA'ların enerji tüketimi detaylı olarak ele alınmış ve oluşturulan rotalarda enerji tüketimi kısıtı parametre olarak belirlenmiştir (K. Dorling, 2017).

Stefan Poikonen ve James F. Campbell tarafından yayımlanan “Future directions in drone routing research” isimli çalışmada dağıtım uygulamalarında İHA'ların bugün ve yakında gelecekteki kullanımları tartışılmıştır. İHA rotalama problemlerinde pek çok uygulamanın GSP, ARP ve Yay rotalama Problemi kullandığını fakat bu modellerin kısıtlarının İHA'ları daha iyi modelleyecek şekilde geliştirilebileceğine çalışma içerisinde sıkça vurgu yapılıyor. Aynı zamanda çalışma içerisinde Covid-19 pandemisi ile birlikte İHA'ların dağıtımda kullanılmasındaki motivasyonun araştırmalarda da arttığı belirtilmiştir (Poikonen & Campbell, 2021).

Liu tarafından yayımlanan makalede birden fazla İHA'nın gerçek zamanlı, dinamik olarak oluşan talepleri karşılamak için görev paylaşımı ve rotalamasına yönelik olarak tam sayılı doğrusal programlama ile algoritma geliştirilmiş ve çözülmüştür. Çalışma içerisinde oluşan rotaların simülasyonu da geliştirilmiş ve çözüm görselleştirilmiştir (Liu, 2019).

Mohammad Moshref-Javadi ve Matthias Winkenbach tarafından gerçekleştirilen çalışmada 27 firma tarafından İHA kullanılarak gerçekleştirilen lojistik uygulamalarına detaylıca yer verilmiştir. Çalışmada lojistik için İHA kullanımında çeşitli modeller incelenmiş ve literatürde bu modellerin uygulamaları karşılaştırılmıştır. Yalnızca İHA'nın tek depodan çıktığı model (Drone-Based), İHA ve tır gibi iki farklı aracın tek depodan çıktığı model (Unsynchronized Multi-modal), İHA'ların tır gibi hareketli bir platformdan çıktığı model (Synchronized Multi-modal) modelleri çalışma içerisinde ele alınmıştır. Modellerin avantajları, dezavantajları ve literatürde modellerin kullanıldığı uygulamalar detaylı olarak çalışmanın içerisinde belirtilmiştir (Moshref-Javadi & Winkenbach, 2021).

Chang ve Lee'nin çalışmasında yaygınlaşan İHA kullanımının ticari olarak lojistik uygulamalarında da kullanımının yaygınlaşmasının beklendiği ifade edilmiştir. Bu yaygınlaşma için lojistik sistemlerin en önemli parametrelerinden biri olan rotalamanın başlıca çalışma konusu olduğu belirtilmiştir. Çalışmada tır ve içerisinde çıkan İHA'lar ile talep noktalarındaki taleplerin karşılanmasına yönelik bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Çalışmada öncelikle 30 talep noktasının her birinin tır ile ziyaret edilmesi çözümü gerçekleştirilmiştir. Sonrasında en optimal yöntem taleplerin alt kümelerine ayrılması tırın bu kümelerin merkezlerine gitmesi ve İHA'ların tır içerisinde çıkarak talep noktalarını ziyaret etmesi olarak sunulmuştur (Chang & Lee, 2018).

Mariam Faied ve arkadaşları 2010 yılında yayımladıkları çalışmada ARP modelini savunma alanı için oluşturdukları bir İHA senaryosunda uygulamışlardır. Çalışmada birden fazla İHA için birden fazla görev noktası belirlenmiş ve kalkış noktasından kalkacak İHA'lar için bu görev noktalarını ziyaret edecek şekilde en kısa rotanın belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışma esnasında bu uygulamanın İHA'ların görev planlaması için başarılı bir simülasyon olduğu belirtilmiştir (Faied, Girard, & Mostafa, 2010).

Dadnadkjahdja tarafından hazırlanan çalışmada savunma alanında İHA'ların hedef tespiti, gözetlemesi ve imhası için kullanılabildiği belirtilmiştir. Bu uygulamalarda konumu bilinen hedefler arasında önemine göre ayırım gerçekleştirmek için tam sayılı programlama ile algoritma geliştirilmiştir. Ayırım gerçekleştirilen hedefleri İHA'ların hangi sıra ile ziyaret edeceğini belirlemek için de ARP kullanılarak rotalama adımı gerçekleştirilmiştir. Uygulamada askeri bir senaryo kurgulanmış ve hedeflerin gözetlenmesi için belli süre kısıtları belirlenmiştir. Bu sebeple çalışma içerisinde ARP'nin alt uygulamalarından biri olan zaman pencereli ARP kullanılmıştır (Weinstein & Schumacher, 2007).



4. UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Bu çalışmada pandemi koşullarında birden fazla İHA'nın kullanıldığı iki farklı senaryo üzerinde uygulama gerçekleştirilecektir. Bu uygulamalardan ilki bir şehir merkezinde keşif gözetleme görevinin gerçekleştirilerek insanlar arasındaki mesafenin takip edilmesi, maske takımının kontrol edilmesi gibi uygulamaların İHA'lar ile gerçekleştirilmesi üzerinedir.

İkinci uygulama ise bir merkezden ara dağıtım noktalarına İHA'lar ile faydalı yük taşınması uygulaması üzerine çalışılmıştır. Örnek senaryoda Ankara Bilkent Şehir Hastanesi'nden Çankaya'nın 117 mahallesine Covid ilaçları taşınması üzerine çözüm geliştirilmiştir. Şu anki teknoloji ile gerçek hayatta uygulamasında sıkıntı olabileceği değerlendirilmesine rağmen tedarik zincirini tamamlamak adına uygulamanın ikinci aşaması olarak mahalle muhtarlığından hasta evlerine İHA'lar ile taşımının gerçekleştirilmesi üzerine çalışma gerçekleştirilmiştir.

4.1. ŞEHİR KEŞİF GÖZETLEME UYGULAMASI

4.1.1. Problem Tanımı

Bir şehir merkezinde İHA'lar ile gözetleme gerçekleştirme uygulamaları gerçekleştirilebilmektedir. Bu uygulamalar tek bir bölge için tek bir İHA kullanarak gerçekleştirilebildiği gibi birden fazla İHA ile geniş bir alanda da gerçekleştirilebilmektedir. Bu uygulamada bir şehir merkezinde pandemi önlemleri kapsamında insanların yoğun olarak toplanabileceği bölgelerde mesafe kurallarına uyulup uyulmadığı kontrolünün İHA'lar ile gerçekleştirildiği bir senaryo kurgulanmıştır.

Bu senaryoya göre İHA'lar bir merkezden harekete başlayacaktır. Tek bir kullanıcı tarafından gözetlenmesi istenilen bölgeler işaretlenecek ve bu bölgelerin ne kadar süre boyunca gözetlenmesi istendiği kullanıcı tarafından girilecektir. Buna istinaden İHA'lar kendi aralarında bölge paylaşımı ve rotalama optimizasyonu gerçekleştirerek göreve başlayacaklardır.

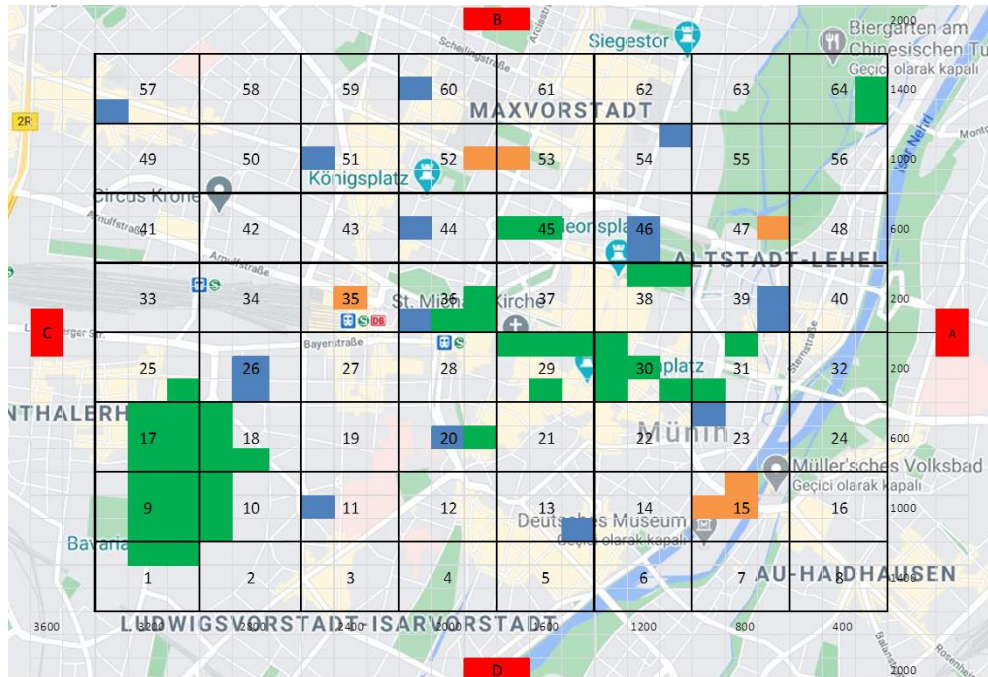
Uygulamayı gerçekleştirmek için kalabalık Avrupa şehir merkezlerinden biri olan Münih şehir merkezi seçilmiştir. Münih şehir merkezi haritası her bir kenarı 400 metre olan 64 kareye bölünerek parsellenmiştir. Bölgede görev paylaşımını yapabilmek adına parsellere ayırım işlemi gerçekleştirilmiştir. Münih şehir merkezi düz denebilecek yükseklik farkının

çok olmadığı bir bölgedir. Problemden İHA'ların rota boyunca irtifa değıştirmedığı varsayıldığı için gerçekçi bir sonuç elde edebilmek adına yükseklik farkının çok olmadığı bir bölge üzerinde çalışmak önem arz etmektedir.

Uygulamada 7 adet İHA ile görevin gerçekleştirileceğı kabul edilmiştir. Problemden Multikopter (Döner Kanatlı) İHA kullanıldığı öngörülmektedir. Gözetleme amacı için profesyoneller tarafından da yaygın bir şekilde kullanılan DJI Matrice 300 RTK model drone problem için uygun İHA olarak belirlenmiştir. Uçuş süresi ve üzerinde bulunan görüntüleme sistemi açısından değerlendirildiğinde bu uygulama için uygun İHA olduğu düşünülmüştür.

Bu uygulamada bir kalkış noktasından kalkıp belirlenen bölgelerde gözetleme görevini gerçekleştirip geri dönecek optimal rotanın hesaplanmasının yanı sıra şehir içerisinde kalkış noktası için en uygun noktanın seçilmesine yönelik de çalışma gerçekleştirilmiştir. Şehrin kuzey, güney, doğu ve batı bölgesinde potansiyel kalkış-varış noktaları belirlenmiştir. Rota hesaplama çözümü tek tek her bir nokta için uygulanarak hangi nokta merkez olarak belirlendiğinde daha az süre harcandığı belirlenmesi üzerine çözüm geliştirilmiştir.

Uygulama için gözetleme ihtiyacı olabilecek yerler belirlenmiştir; metro çıkışları, turistik bölgeler, meydanlar ve bu bölgelerin farklı süreler boyunca gözetlenmesi gerektiğı

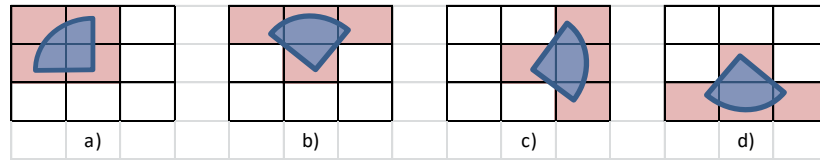


Şekil 3 - Münih Şehir Merkezi Haritası

değerlendirilmiştir. Uygulamaya girdi olacağı kabul edilen alanlar Şekil 3'te gösterildiği gibi harita üzerinde belirlenmiştir. Şekildeki farklı renkler farklı gözetleme sürelerini temsil etmektedir; Yeşil bölgeler 12,5 dakika, turuncu bölgeler 7,5 dakika, mavi bölgeler 5 dakika boyunca görüntülenmelidir. Kırımızı ile işaretlenen bölgeler de potansiyel İHA kalkış noktası olarak belirlenmiştir.

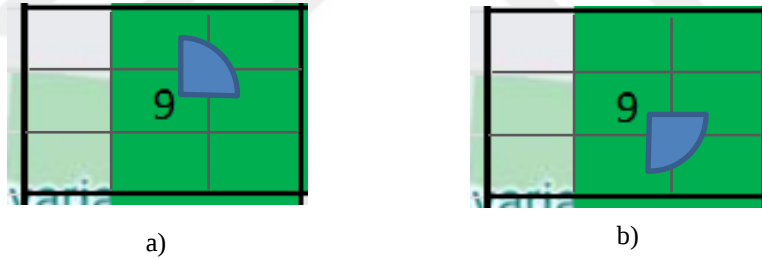
Kullanıcı tarafından girdi olarak kabul edilen seçimler şehirde bulunan turistik noktalar, metro istasyonu giriş çıkış noktaları, parklar ve toplu buluşma noktaları düşünülerek saptanmıştır. Farklı bölgelerde farklı gözetleme sürelerinin yeterli olabileceği değerlendirilmiştir. Örneğin metro çıkışları insanların hızlı hareket ettiği bölgeler olduğu için mavi ile işaretlenen bu bölgelerde gözetleme süreleri 5 dakika olarak belirlenmiştir. Turuncu bölgeler şehrin ikonik turistik bölgelerinden seçilmiş alanlardır ve bu alanlarda insanların buluşma bekleme ihtimalleri yüksek olduğundan kalabalık olabileceği değerlendirilmiş ve 7,5 dakikalık gözetleme süresi belirlenmiştir. Parklar ve meydanlar ise insanların toplu olarak buluştukları ve uzun vakit geçirdikleri alanlar olarak değerlendirilmiştir. Yeşil ile işaretlenen bu alanlar için ise 12,5 dakikalık gözetleme süresi belirlenmiştir.

Uygulama temel olarak bu belirlenen girdilere istinaden İHA'ların kalkış noktasından kalkarak belirlenen sürelerle göre bütün bölgelerdeki gözetleme görevini tamamlayarak kalkış noktasına döndüğü optimum rotanın hesaplanmasını amaçlamaktadır. Kalkış noktası için Şekil 3'te gösterildiği gibi A,B, C ve D noktaları potansiyel olarak belirlenmiş ve hangi noktanın bu girdiler özelinde toplam görev süresi açısından daha ekonomik olacağı da problemin çözülmesi istenen bir diğer aşamasıdır.



Şekil 4 – İHA bakış yönü ve gözlemlenen alan gösterimi

Bu uygulamada havada asılı kalabilme özelliği ile de ön plana çıkan Multikopter (Döner Kanatlı) İHA kullanılması daha avantajlı olacağı değerlendirilmiştir. Uygulamada kullanılan DJI Matrice 300 RTK model İHA faydalı yük olarak yüksek çözünürlüklü ve yüksek zoom kabiliyetine sahip bir kamera taşımaktadır. Bu nedenle İHA'ların gözlemlene faaliyetini gerçekleştirebilmesi için 400mx400m'lik parsellerin orta noktasına gitmesinin yeterli olacağı değerlendirilmiştir. Fakat İHA'nın bulunduğu noktadan 360° lik bir açıyı gözlemlemesi mümkün olmayacaktır. Bu sebeple Şekil 4'de İHA'nın pozisyonuna göre gözlem yapabildiği/kapsadığı alanlar belirtilmiştir. Bu varsayıma göre her bir parsel için toplam gözetleme ihtiyacı belirlenmiştir. Örneğin; 9.bölgedeki ihtiyacı karşılamak için İHA'nın 25 dakika boyunca gözlem yapması gerekmektedir. 9. Bölge örneğinde gerçekleştirilecek görev süresinin ne kadar olacağını hesaplamak için Şekil 5'te gösterildiği gibi İHA'nın bölgenin merkezine gittiği ve buradan belirli bir açılarda gözetleme görevini gerçekleştirdiği kabul edilmektedir. Bütün talep olan bölgeler gözetlenene kadar geçmesi gereken süre o bölge için toplam talep olarak belirlenir ve veri tablosuna not edilir. 9.bölge için bu süre İHA'nın Şekil 5'te gösterilen a) pozisyonunda 12,5 dakika ve b) pozisyonunda 12,5 dakika olmak üzere



Şekil 5 - Örnek bir bölge için gözetleme süresi hesaplaması

toplam 25 dakika olarak hesaplanmıştır.

4.1.2. Problemin Çözümü

4.1.2.1. Veri Oluşturma

İlk aşama olarak problem çözümünde kullanılacak veri seti oluşturulmaya başlanmıştır. Problemin çözümü için ilk önce Tablo 4'de örnek verildiği gibi her bir bölgenin merkezinin koordinat ve toplam talep bilgileri sıralanmıştır. Tablo 4'te ilk 5 parsel için olan bilgiler verilmiştir geri kalan 64 parsel ile ilişkin bilgiler EK-2 MUNİH ŞEHİRİ BELİRLLENEN PARSELLERİN KONUMLARI VE TALEPLERİ başlığında verilmiştir.

Tablo 4 – Bölgelere göre koordinat ve talep bilgileri

	X(m)	Y(m)	X(km)	Y(km)	Talep
0	1800	-2000	1,8	-2	0
1	3200	-1400	3,2	-1,4	25
2	2800	-1400	2,8	-1,4	0
3	2400	-1400	2,4	-1,4	0
4	2000	-1400	2	-1,4	0
5	1600	-1400	1,6	-1,4	0
⋮					

Sıralanan koordinat bilgileri ve (1) formülü kullanılarak Tablo 5’de gösterildiği gibi bölgelerin merkezlerinin birbirlerine olan uzaklıkları hesaplanmıştır. Tablo 5’te ilk 5 bölge merkezlerinin birbirlerine göre olan mesafeler belirtilmiştir. 64 x 64 boyutunda olan 64 parsel merkezlerinin birbirine göre konumu EK-1 MUNİH ŞEHİRİ PARSELLERİ ARASINDAKİ MESAFELER başlığında verilmiştir.

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (1)$$

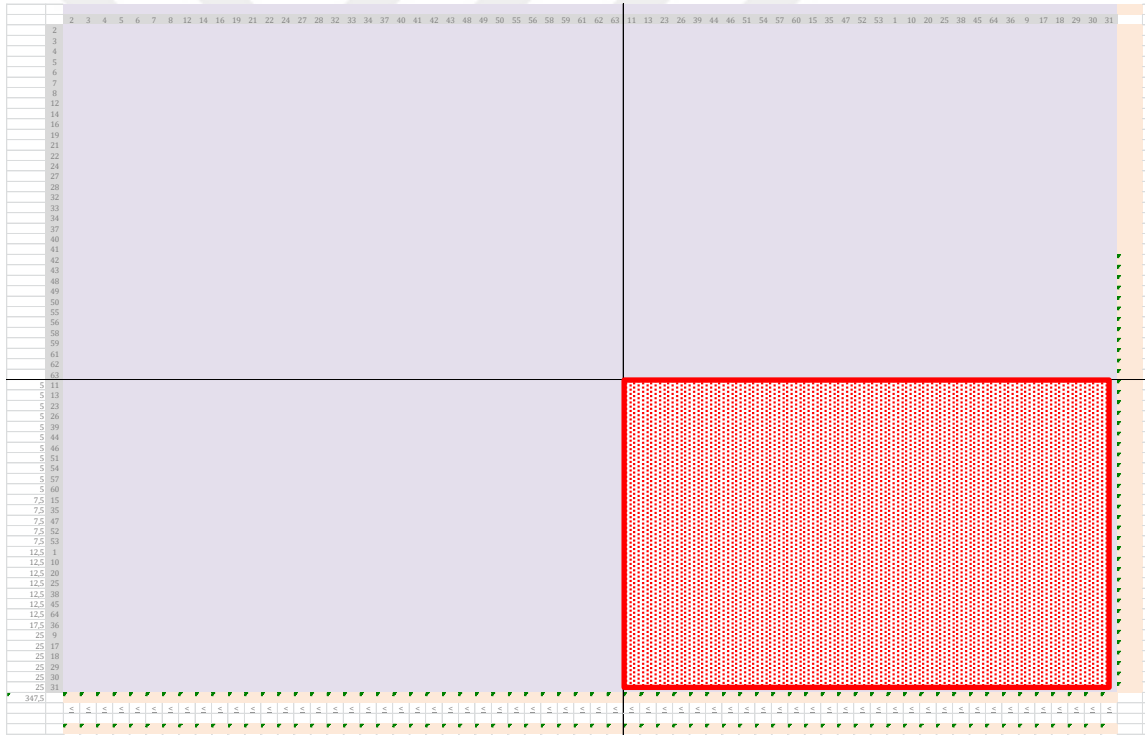
Tablo 5 – Bölgeler arası uzaklık hesaplamaları

	0	1	2	3	4	5	...
0	####	1,5	1,2	0,8	0,6	0,6	
1	1,5	####	0,4	0,8	1,2	1,6	
2	1,2	0,4	####	0,4	0,8	1,2	
3	0,8	0,8	0,4	####	0,4	0,8	
4	0,6	1,2	0,8	0,4	####	0,4	

5	0,6	1,6	1,2	0,8	0,4	####	
÷							####

4.1.2.2. Küme Örtüleme Modeli Uygulaması

Küme Örtüleme Modelinin oluşturulan veri setine uygulanması için Excel Solver Studio kullanılmıştır. Solver Studio ile hızlı çözüm gerçekleştirmek adına bölgeler taleplerine göre sıralanarak küme örtüleme modeli yalnızca talep (ihtiyaç) olan bölgeler için uygulanmıştır. Problem, 64 x 64'lük bir matris üzerinde çözmek yerine bu şekilde sıralama gerçekleştirilerek Şekil 6'te gösterildiği gibi 30 x 30'luk bir matris üzerinde çözülmeye çalışılmıştır.



Şekil 6 – Küme Örtüleme Modeli Uygulama Veri Seti

Oluşturulan 64x64'lük matriste Tablo 5'de belirtilen bölgelerin birbirlerine olan uzaklıklarının taleplerin küçükten büyüğe sıralanması sonucu yalnızca talep olan 30x30'luk veriden oluşmaktadır. Çözüm süresini kısaltmak için talep olmayan bölgeler bu yöntem ile çözüm kümesinin içerisinden çıkarılmıştır. Talep olmayan bölgelere İHA'ların gitmesi gerekmediği için baştan çözüm kümesinden çıkarılarak işlem sayısı

azaltılmıştır. Kullanılabilecek en fazla İHA sayısı bu örnek problem için 7 olarak belirlenmiştir. Bu örnek problem için DJI firmasının Matrice 300 RTK modeli ele alınmış ve 55 dakikalık uçuş süresi göz önünde bulundurularak en fazla görev süresi 50 dakika olarak belirlenmiştir (Matrice 300 RTK - Specifications - DJI, 2021).

Problemin amacı İHA'ların toplam aldığı mesafenin en az olduğu çözüme ulaşmaktır. En kısa mesafe olan çözüm daha kısa sürede görevin tamamlanması anlamına gelmekte ve gün içerisinde gerçekleştirilecek devriye sayısını artmasını sağlamaktadır.

Excel'in SolverStudio eklentisi kullanılarak matematiksel programlama ile çözülmüştür. Şekil 7'te SolverStudio eklentisinin parametre ekleme sayfası görülmektedir. Excel sayfası içerisinde hücrelerin içerisine girilen formüller ve bu ekranda bulunan parametreler ile yukarıda belirtilen amaç fonksiyonu ve kısıtlar tanımlanmıştır. Çözüm methodu olarak Simplex LP (Simplex Linear Programming) kullanılmıştır.

Solver Parameters

Set Objective:

To: ☐ Max ☒ Min ☐ Value Of:

By Changing Variable Cells:

Subject to the Constraints:

- \$AK\$2:\$BN\$2 = binary
- \$AK\$38:\$BN\$67 = binary
- \$AK\$68:\$BN\$68 <= \$AK\$70:\$BN\$70
- \$AK\$71:\$BN\$71 <= \$BQ\$71
- \$BO\$2 <= \$BQ\$2
- \$BO\$38:\$BO\$67 = 1

☒ Make Unconstrained Variables Non-Negative

Select a Solving Method:

Solving Method

Select the GRG Nonlinear engine for Solver Problems that are smooth nonlinear. Select the LP Simplex engine for linear Solver Problems, and select the Evolutionary engine for Solver problems that are non-smooth.

Buttons: Add, Change, Delete, Reset All, Load/Save, Options, Help, Solve, Close

Şekil 7 – SolverStudio Parametre Ekranı

kısıtlar tanımlanmıştır. Çözüm methodu olarak Simplex LP (Simplex Linear Programming) kullanılmıştır.

Solver Parameters

Set Objective:

To: ☐ Max ☒ Min ☐ Value Of:

By Changing Variable Cells:

Subject to the Constraints:

- \$B\$13:\$E\$13 = 1
- \$B\$15 = 1
- \$B\$9:\$E\$12 = binary
- \$C\$15:\$E\$15 <= \$G\$15
- \$C\$15:\$E\$15 >= 2
- \$F\$9:\$F\$12 = 1
- \$J\$10:\$L\$12 <= \$N\$12

☒ Make Unconstrained Variables Non-Negative

Select a Solving Method:

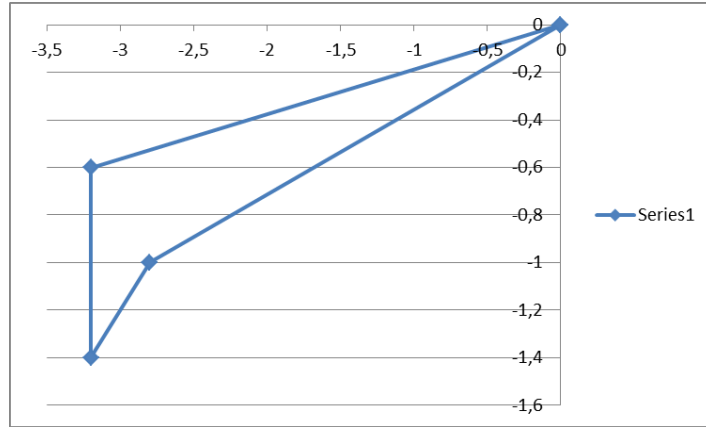
Solving Method

Select the GRG Nonlinear engine for Solver Problems that are smooth nonlinear. Select the LP Simplex engine for linear Solver Problems, and select the Evolutionary engine for Solver problems that are non-smooth.

Buttons: Add, Change, Delete, Reset All, Load/Save, Options, Help, Solve, Close

Şekil 9 – SolverStudio Parametre Ekranı

SolverStudio eklentisi ile problemin çözümü gerçekleştiğinde optimal çözüm kümesi elde edilmiş ve bu çözüm kümsine göre rota edilmiştir. Bulunan rota excelde Şekil 10’da görüldüğü gibi görselleştirilmiştir.



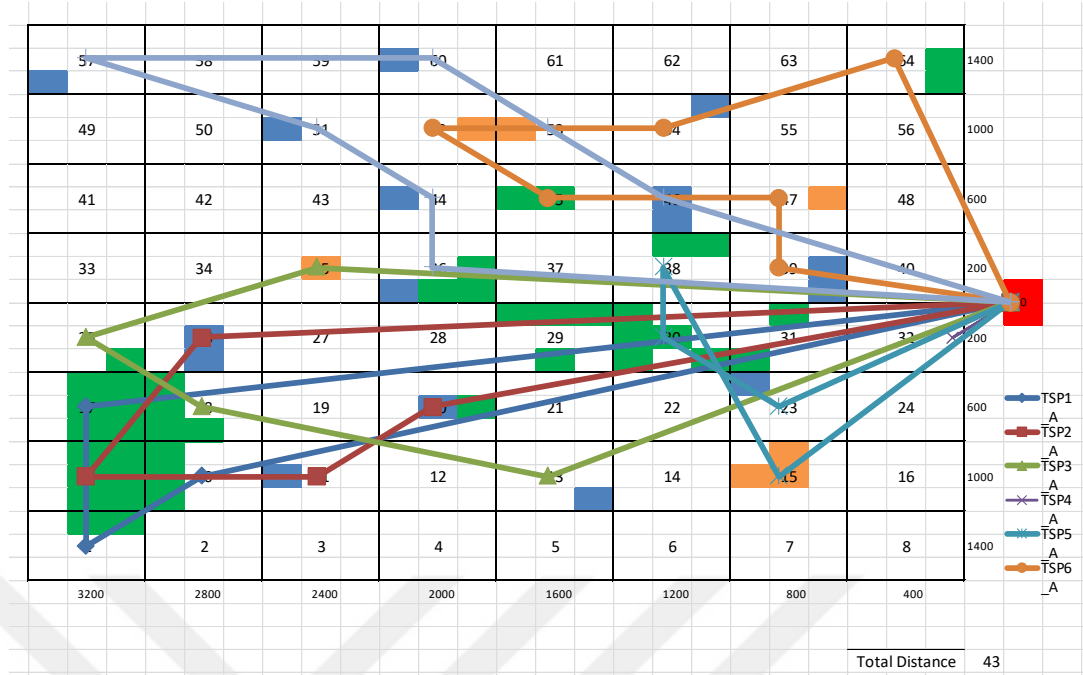
Şekil 10 – TSP Çözümü ile Bulunan İHA Rotalama Örneği

Bu yöntem 7 İHA'nın her biri için teker teker uygulanmış ve her bir İHA için optimal rota elde edilmiştir. A kalkış noktasından kalkan İHA'lar için yapılan örnek hesaplama Şekil 11'de gösterilmiştir.

TSP1_A	TSP2_A	TSP3_A	TSP4_A	TSP5_A	TSP6_A	TSP7_A
0 0 1 0	0 0 1 0	0 0 1 0	0 0 1 0	0 0 1 0	0 0 1 0	0 0 1 0
-3,2 -0,6 2 17	-2 -0,6 2 20	-2,4 0,2 2 35	-1,6 -0,2 2 29	-0,8 -1 2 15	-0,4 1,4 2 64	-2 0,2 2 36
-3,2 -1,4 3 1	-2,4 -1 3 11	-3,2 -0,2 3 25	-0,8 -0,2 3 31	-1,2 0,2 3 38	-1,2 1 3 54	-2 0,6 3 44
-2,8 -1 4 10	-3,2 -1 4 9	-2,8 -0,6 4 18	0 0 6 0	-1,2 -0,2 4 30	-2 1 4 52	-2,4 1 4 51
0 0 5 0	-2,8 -0,2 5 26	-1,6 -1 5 13	Total Distance 3,2	-0,8 -0,6 5 23	-1,6 0,6 5 45	-3,2 1,4 5 57
Total Distance 7,6	0 0 6 0	0 0 6 0		0 0 6 0	-0,8 0,6 6 47	-2 1,4 6 60
	Total Distance 7,2	Total Distance 7		Total Distance 4,5	-0,8 0,2 7 39	-1,6 1 7 53
					0 0 8 0	-1,2 0,6 8 46
					Total Distance 5,7	0 0 9 0
						Total Distance 7,5

Şekil 11 – A noktasından kalkan 7 İHA için hesaplanan optimal rotalar

A noktasından kalkan 7 İHA için de elde edilen optimal rotaların birlikte görselleştirildiği Şekil 12'da toplam mesafenin 42,7 km olduğu görülmektedir. 7 rota içerisinde en uzun mesafe ise 7,5 km'dir.



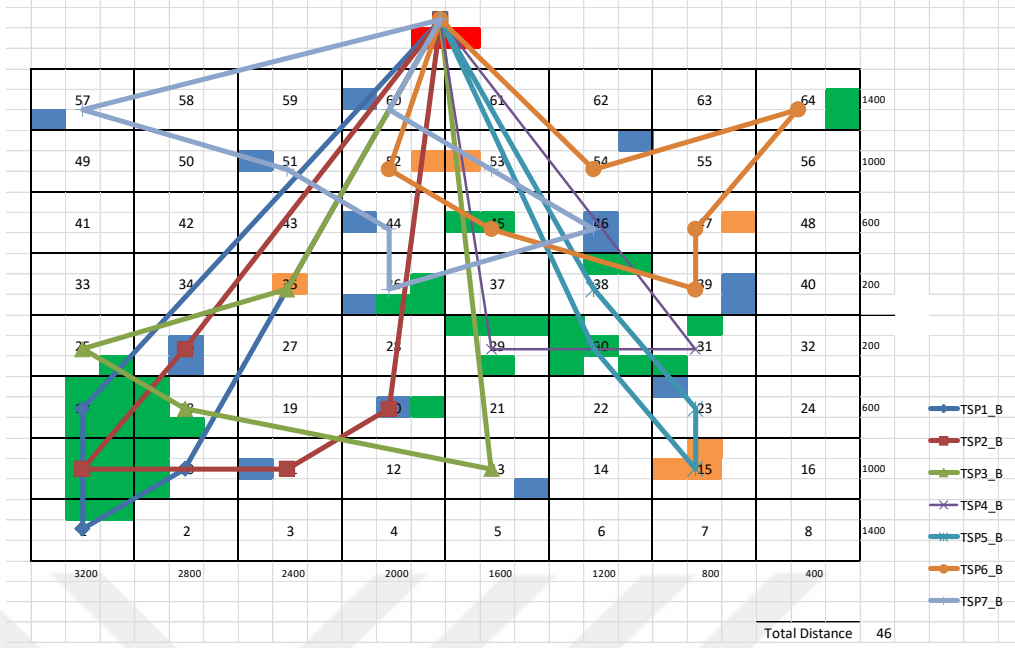
Şekil 12 – A noktasından kalkan 7 İHA için optimal rotaların görseli

Asıl problemin amacı için kalkış noktalarının birbirini ile kıyaslamasını yapabilmek adına Küme Örtüleme modeli her bir potansiyel kalkış noktası için tekrar çalıştırılmış ve elde edilen İHA bölge eşleşmesine istinaden Gezgin Satıcı Problemi Modeli uygulanmıştır. Aşağıdaki şekillerde potansiyel kalkış noktaları için elde edilen rotalar verilmiştir.

TSP1_B	TSP2_B	TSP3_B	TSP4_B	TSP5_B	TSP6_B	TSP7_B
-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
2	2	2	2	2	2	2
1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0
-3,2	-2,8	-1,6	-1,6	-1,2	-1,2	-3,2
-0,6	-0,2	-1	-0,2	0,2	1	1,4
2	2	2	2	2	2	2
17	26	13	29	38	54	57
-3,2	-3,2	-2,8	-0,8	-0,8	-0,4	-2,4
-1,4	-1	-0,6	-0,6	-0,6	1,4	1
3	3	3	3	3	3	3
1	9	18	31	23	64	51
-2,8	-2,4	-3,2	-0,8	-0,8	-0,8	-2
-1	-1	-0,2	-1	-1	0,6	0,6
4	4	4	4	4	4	4
10	11	25	0	15	47	44
-1,8	-2	-2,4	-1,8	-1,2	-0,8	-2
2	-0,6	0,2	2	-0,2	0,2	0,2
5	5	5	6	5	5	5
0	0	0	0	0	0	0
Total Distance	Total Distance	Total Distance	Total Distance	Total Distance	Total Distance	Total Distance
7,5	7,3	7,6	5,4	6,4	5,8	6

Şekil 13 - B noktasından kalkan 7 İHA için hesaplanan optimal rotalar

B noktasından kalkan 7 İHA için de elde edilen optimal rotaların birlikte görselleştirildiği Şekil 14'da toplam mesafenin 46 km olduğu görülmektedir. 7 rota içerisinde en uzun mesafe ise 7,6 km'dir.

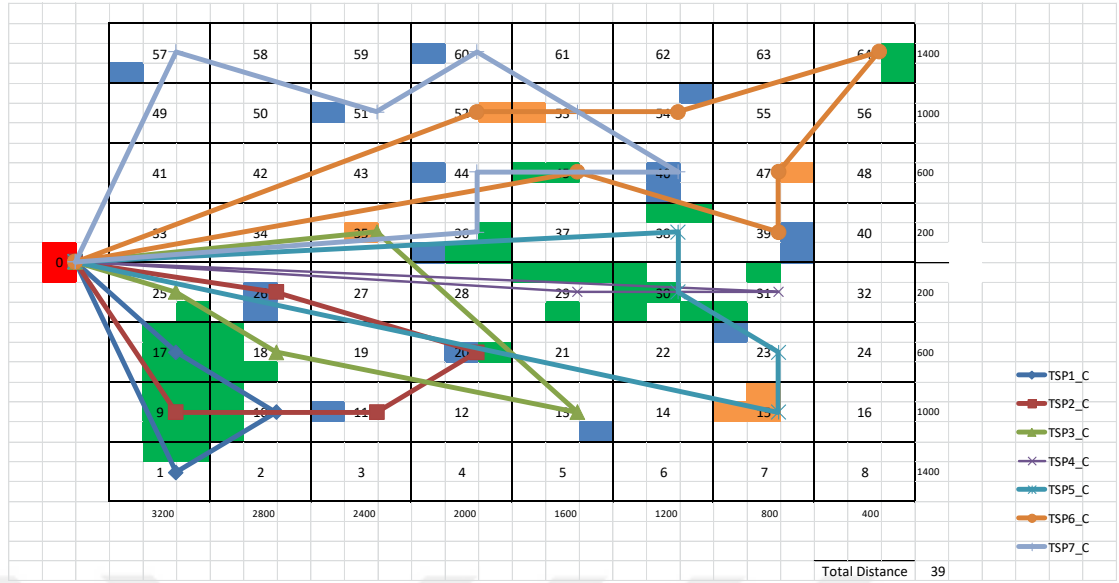


Şekil 14 - B noktasından kalkan 7 İHA için optimal rotaların görseli

TSP1_C	TSP2_C	TSP3_C	TSP4_C	TSP5_C	TSP6_C	TSP7_C
-3,6 0 1 0	-3,6 0 1 0	-3,6 0 1 0	-3,6 0 1 0	-3,6 0 1 0	-3,6 0 1 0	-3,6 0 1 0
-3,2 -0,6 2 17	-3,2 -1 2 9	-2,4 0,2 2 35	-1,6 -0,2 2 29	-1,2 0,2 2 38	-2 1 2 52	-2 0,2 2 36
-2,8 -1 3 1	-2,4 -1 3 11	-1,6 -1 3 13	-0,8 -0,2 3 31	-1,2 -0,2 3 30	-1,2 1 3 54	-2 0,6 3 44
-3,2 -1,4 4 10	-2 -0,6 4 20	-2,8 -0,6 4 18	-3,6 0 6 0	-0,8 -0,6 4 23	-0,4 1,4 4 64	-1,2 0,6 4 46
-3,6 0 5 0	-2,8 -0,2 5 26	-3,2 -0,2 5 25		-0,8 -1 5 15	-0,8 0,6 5 47	-1,6 1 5 53
Total Distance 3,3	-3,6 0 6 0	-3,6 0 6 0	Total Distance 5,6	-3,6 0 6 0	-0,8 0,2 6 39	-2 1,4 6 60
	Total Distance 4,2	Total Distance 4,9		Total Distance 6,7	-1,6 0,6 7 45	-2,4 1 7 51
					-3,6 0 8 0	-3,2 1,4 8 57
					Total Distance 7,9	-3,6 0 9 0
						Total Distance 6,6

Şekil 15 - C noktasından kalkan 7 İHA için hesaplanan optimal rotalar

C noktasından kalkan 7 İHA için de elde edilen optimal rotaların birlikte görselleştirildiği Şekil 15’de toplam mesafenin 39,2 km olduğu görülmektedir. 7 rota içerisinde en uzun mesafe ise 7,9 km’dir.

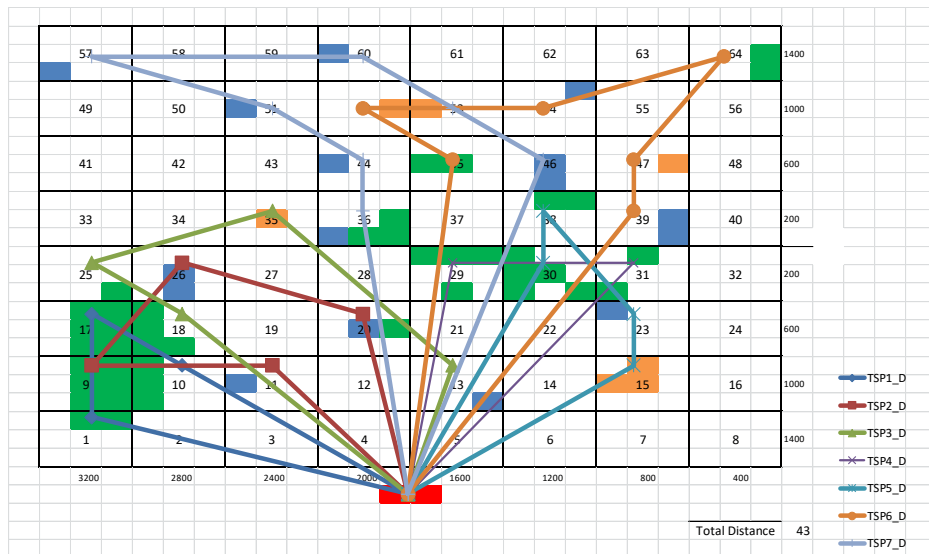


Şekil 16 - C noktasından kalkan 7 İHA için optimal rotaların görseli

TSP1_D	TSP2_D	TSP3_D	TSP4_D	TSP5_D	TSP6_D	TSP7_D
-1,8 -2 1 0	-1,8 -2 1 0	-1,8 -2 1 0	-1,8 -2 1 0	-1,8 -2 1 0	-1,8 -2 1 0	-1,8 -2 1 0
-2,8 -1 2 10	-2 -0,6 2 20	-1,6 -1 2 13	-1,6 -0,2 2 29	-0,8 -1 2 15	-1,6 0,6 2 45	-2 0,2 2 36
-3,2 -0,6 3 17	-2,8 -0,2 3 26	-2,4 0,2 3 35	-0,8 -0,2 3 31	-0,8 -0,6 3 23	-2 1 3 52	-2 0,6 3 44
-3,2 -1,4 4 1	-3,2 -1 4 9	-3,2 -0,2 4 25	-1,2 0,2 4 38	-1,2 0,2 4 38	-1,2 1 4 54	-2,4 1 4 51
-1,8 -2 5 0	-2,4 -1 5 11	-2,8 -0,6 5 18	-1,2 -0,2 5 30	-1,2 -0,2 5 30	-0,4 1,4 5 64	-3,2 1,4 5 57
Total Distance 4,3	-1,8 -2 6 0	-1,8 -2 6 0	-1,8 -2 6 0	-1,8 -2 6 0	-0,8 0,6 6 47	-2 1,4 6 60
	Total Distance 5,2	Total Distance 5,6	Total Distance 4,7	Total Distance 5	-0,8 0,2 7 39	-1,6 1 7 53
					-1,8 -2 8 0	-1,2 0,6 8 46
					Total Distance 8,6	-1,8 -2 9 0
						Total Distance 9,1

Şekil 17 - D noktasından kalkan 7 İHA için hesaplanan optimal rotalar

D noktasından kalkan 7 İHA için de elde edilen optimal rotaların birlikte görselleştirildiği Şekil 18’de toplam mesafenin 42,5 km olduğu görülmektedir. 7 rota içerisinde en uzun mesafe ise 8,6 km’dir.



Şekil 18 - D noktasından kalkan 7 İHA için optimal rotaların görseli

Tablo 6 – Potansiyel Kalkış Noktaları Karşılaştırma Tablosu

Potansiyel Kalkış Noktası	Toplam Mesafe
A Noktası (Doğu)	42,7 km
B Noktası (Kuzey)	46 km
C Noktası (Batı)	39,2 km
D Noktası (Güney)	42,5 km

Bu bilgilere ışığında hangi noktanın İHA'ların kalkışı için uygun nokta olacağının belirlenmesi için 7 İHA'nın katettiği toplam mesafe yerine 7 İHA içerisinde en fazla mesafenin en az olduğu noktanın belirlenmesi gerekmektedir. Çünkü 7 İHA içerisinde en fazla mesafe kateden İHA grubun turu ne kadar sürede tamamlayacağını belirleyecektir. Tablo 6'te de görüldüğü üzere şehrin batı bölgesinde bulunan C noktası 39,2 km toplam mesafe ile en az mesafe katedilen seçenektir. Fakat toplam mesafe en az olmasına rağmen C noktasından kalkış yapan ve en fazla mesafe kateden 6 numaralı İHA'nın aldığı mesafe 7,9 km'dir. Buna karşın A noktasından kalkış yapan ve en fazla mesafe kateden 7 numaralı İHA'nın aldığı mesafe 7,5 km'dir. Bu nedenle A noktası seçilirse 7 adet İHA'nın belirlenen noktaları belirlenen sürelerde gözetleme görevini gerçekleştirmesi daha kısa sürece tamamlanmış olacaktır.

4.2. İHA'LAR İLE İLAÇ DAĞITIMI UYGULAMASI

4.2.1. Problem Tanımı

İnsansız Hava Araçları pek çok farklı alanda yük taşımak ve bırakmak için kullanılmaktadır. Amazon ve Google gibi büyük teknoloji firmalarının da İHA'lar ile kargo teslimatına yönelik uygulama çalışmaları gerçekleştirdiği bilinmektedir. Ticari uygulamaların yanı sıra insani uygulamalarda da İHA'lar ile dağıtım ve/veya toplama işlemi gerçekleştirebilmektedir (Elmas, 2019).

Dağıtım işlemini gerçekleştirmek için günümüzde iki noktada İHA kullanımı ihtiyacı olabileceği değerlendirilmiştir. Bunlardan bir tanesi coğrafi koşullar sebebiyle dağlık

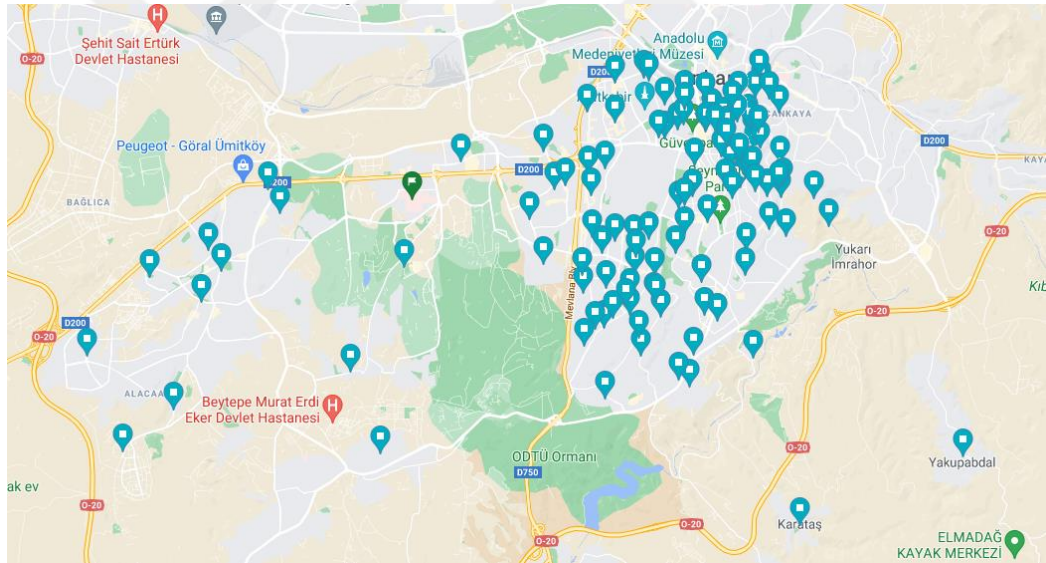
bölgeler arasında dağıtım veya toplama işleminin İHA'lar ile gerçekleştirilmesidir. Bir diğeri ise ulaşım için yollar olmasına rağmen yoğun trafik olan şehir merkezlerinde dağıtım ve toplama işlemi için zamandan kazanmak adına İHA'lar ile gerçekleştirilmesidir.

Özellikle pandemi döneminin başlarında ilaç ve test kiti gibi kaynakların çok kısıtlı olması sebebi ile taleplerin günlük olarak karşılanması ve günlük olarak dağıtım ağı kurulması gerekliliği meydana gelmiştir. Kaynakların kısıtlı olması ile ilaçların bütün mahallelere dağıtılarak mahallelerde stoklanması çok mümkün olmamıştır. Bunun yerine merkez depodan günlük olarak talebe istinaden dağıtım gerçekleştirilmesi ihtiyacı olmuştur.

Bu ihtiyaçtan yola çıkarak; kısıtlı kaynağın olduğu yerde zaman her zaman önemli bir parametredir ve dağıtımı en hızlı şekilde yapabilmek önemlidir. Yukarıda da belirtildiği gibi dağlık bir bölgede bu dağıtımı gerçekleştirmek ya da yoğun bir şehir merkezinde bu dağıtımı gerçekleştirmek için İHA kullanılabileceği değerlendirilmiştir. Tabii ki İHA kullanımı esnasında da zamanı en efektif şekilde kullanabilmek adına taleplere göre İHA'ların rotasının belirlenmesi de önemli problemlerden bir tanesidir.

Bu probleme çözüm oluşturmak adına örnek bir uygulama geliştirilmiştir. Örnek uygulama Türkiye'nin en kalabalık illerinden birisi olan Ankara'nın en yoğun ilçesi Çankaya'da kurgulanmıştır. Örnek problemde Ankara Şehir Hastanesi'nden Çankaya'nın 117 mahallesine İHA'lar ile ilaç dağıtılması için İHA'ların optimal rotalarının belirlenmesi ele alınmıştır.

Probleme çözüm oluşturabilmek adına ilk önce veri toplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Probleme girdi oluşturacak 117 mahalle belirlenmiştir. Şekil 19’da harita üzerinde mavi ile gösterilen noktalar 117 mahallenin konumunu göstermektedir. Şekil 19’da harita üzerinde yeşil bayrak ile gösterilen nokta ise dağıtımın merkezi olacak Ankara Şehir Hastanesini göstermektedir. Şehir hastanesi ve mahalleler arasında İHA’ların hangi rotaya göre gideceğini belirleyebilmek adına merkez olan hastanenin ve mahallelerin koordinat bilgisi problemin en önemli verileridir. Bu verileri oluşturabilmek adına her mahallenin muhtarlığının koordinatları belirlenmiş ve tablo oluşturulmuştur. İlaçların hastanelerden mahalle muhtarlıklarına dağıtılacağı buradan da fiyasyon ekiplerinin alarak mahalle içerisindeki dağıtımı gerçekleştireceği şekilde problem kurgulanmıştır. Bu problem özelinde ara dağıtım noktaları muhtarlıklar olarak belirlenmiş olmasına rağmen koordinatları belirlenen herhangi bir kurum ara dağıtım noktası olarak belirlenebilir ve problem verisi o şekilde oluşturulabilir.



Şekil 19 - Çankaya İlçesinde bulunan 117 Mahallenin Konumu

Ara dağıtım noktalarının koordinatlarından sonra bu noktalara ilişkin talep bilgisi de probleme girdi oluşturacak verilerden biridir. Bu problem özelinde talep; dağıtımın gerçekleştirileceği gün o mahallede hasta olan kişi sayısıdır. Bu bilgi Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı tarafından sağlanmadığı için açıklanan resmi günlük vaka sayısından mahallelerin yoğunluğuna göre bir doğrusal orantı yaparak bu veri oluşturulmuştur. 20 Nisan 2021 tarihinde açıklanan veriye göre Türkiye’de toplam günlük vaka sayısı 61,973 kişidir. Türkiye’nin nüfusu 80,000,000 kişi olarak kabul edilerek günlük vaka sayısı toplam nüfusa bölünmüş ve çıkan yüzde her mahallenin

nüfusu ile çarpılarak o mahallede bulunan vaka sayısı belirlenmiştir. Burada kullanılan mahallelerin nüfusu için TÜİK tarafından açıklanan 31 ARALIK 2020 TARİHLİ ADRESE DAYALI NÜFUS KAYIT SİSTEMİ (ADNKS) SONUÇLARI kullanılmıştır. Bu yapılan hesaba göre 20 Nisan 2021 günü için Çankaya ilçesinde toplam 717 yeni vaka olduğu öngörülmüştür.

Hastane ile mahalleler arasında bu teslimatı gerçekleştirebilmek için 11.3 kilogram faydalı yük taşıma kapasitesine sahip ve 60 kilometre menzili olan Drone Delivery Canada isimli firmanın VTOL (Dikey Kalkış İniş) İHA'lar tercih edilmiştir (Technology - Drone Delivery Canada, 2021).

Bu uygulamada bilindiği üzere tedarik zinciri ilaçların hastalara ulaşması ile tamamlanmaktadır. Fakat günümüzde İHA'ların özellikle apartman dairelerine teslimat yapabilmesini mümkün kılan altyapı ve teknoloji bulunmamaktadır. Bu nedenle uygulama hastane ve mahallede belirlenecek bir ara dağıtım noktası olarak belirlenmiş olmasına rağmen ilerleyen dönemlerde evlere de İHA'lar ile teslimat yapmanın mümkün olabileceği değerlendirilerek uygulamanın geliştirilebileceği değerlendirilmiştir.

Pandemi ile mücadele döneminde Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı tarafından filyasyon ekipleri oluşturulmuştur. Filyasyon ekiplerinin görevi temaslı kişiler tespit ederek adreslerinde kontrollerini sağlamak ve hasta kişilerin evlerinde ilaçlarını teslim ederek kontrolleri sağlamaktır. Bir kişinin CoVid-19 PCR test sonucu pozitif çıktığında ağır semptomlar göstermediği takdirde evde kalması istenmektedir. Tedavi için de filyasyon ekipleri tarafından evde karantinaya giren kişiye ilaçlar teslim edilmektedir. Mevcut pandemi durumunda hastalığın yayılmasının en büyük sebebi insanların birbiriyle olan temasıdır. İlaç dağıtımı sırasında da filyasyon ekipleri sıklıkla hasta kişilerle korumalı da olsa temas etmektedirler. Bu süreçte en aza indirmek adına ilaç dağıtımının İHA'lar ile gerçekleştirilmesi mümkün olabilir.

İHA'lar ile ilaç ve test kiti dağıtımı, test sonuçları toplanması gibi uygulamaların yapıldığı görülmektedir. Fakat bu uygulamalarda otomasyon gerçekleştirilmemiştir ve insanların uzaktan kumanda ile kullandığı İHA'lar ile teslimat gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamada otonomi seviyesi yüksek bir sistem tasarlandığı öngörülmüştür. Otonomi seviyesi yüksek bir sistemde İHAların teslimatların gerçekleştireceği noktaların girilmesinin ardından rotayı belirlemesi ve otonom olarak belirtile noktalara teslimat

gerçekleştirmesi beklenmektedir. Bu sistemin rota belirleme kısmına yönelik örnek uygulama gerçekleştirilmiştir.

Örnek uygulamada Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı'nın HES (Hayat Eve Sığar) uygulamasında bulunan yoğunluk haritası üzerinden alınan veri kullanılmıştır. Şekil 20'de 20 Nisan 2021 tarihinde Ankara Alacaatlı Mahallesi bölgesinin yoğunluk haritasının ekran görüntüsü verilmiştir. Bu ekran görüntüsü üzerinden farklı bölgeler, farklı renk seviyeleri ile risk durumuna göre ayrılmaktadır. Harita yaklaşık olarak parsellenmiş ve ölçülendirilmiştir. Şekil 20'de yaklaşık olarak 1,3 km²'lik bir alan gösterilmektedir.



Şekil 20 - HES Uygulaması Ekran Görüntüsü

Harita yaklaşık 400 m²'lik 40 parseli bölünmüştür. HES uygulamasında kullanılan renk skalası risksiz-çok riskli olarak isimlendirilmiştir ve renklere göre bölgelerde bulunan hasta ya da temaslı sayısı herhangi bir kaynaktan paylaşılmamıştır. Bu nedenle bu bölgelerde bulunan hasta sayısı öngörülerek bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu alanlar renklere göre koyudan açığa olarak sırasıyla 1 hasta, 2 hasta ve 3 hasta olarak belirlenmiştir. Renkli olmayan bölgelerde hasta olmadığı öngörülmüştür. 17.parsel yaklaşık olarak bölgedeki sağlık ocağının bulunduğu yerdir bu nedenle İHA'ların kalkış noktası olarak belirlenmiştir.

Bu uygulamada lojistik için özel olarak tasarlanmış bir İHA kullanımının uygun olacağı öngörülmüştür. Bu nedenle 4.5 kilogram faydalı yük taşıma kapasitesine sahip ve 30 kilometre menzili olan Drone Delivery Canada isimli firmanın multikopter tip İHA'sı tercih edilmiştir (Technology - Drone Delivery Canada, 2021).

Görüldüğü üzere bu uygulamanın ilk aşaması olan hastaneden mahallelere dağıtım için VTOL tipi İHA kullanılırken, mahalle içerisindeki dağıtım için multikopter kullanımı

tercih edilmiştir. VTOL tip İHA'ların daha uzun menzil gidebilmeleri ve faydalı yük taşıma kapasitenin daha fazla olması mesafe ve yük açısından daha büyük ölçekli uygulamalar için tercih edilmesine sebep olmuştur. Öte yandan mahalle içerisinde mesafenin ve yükün de az olması ile birlikte daha ufak boyutlu ve daha kıvrak hareket edebilen multikopter İHA kullanımı tercih edilmiştir.

4.2.2. Problemin Çözümü

Hastaneden mahallelere ilaç dağıtımı ve mahalle içerisinde ilaç dağıtımı uygulamalarının her ikisinde de hava araçlarının optimum rotasını bulabilmek için Araç Rotalama Problemi methodu uygulanmıştır. Bu methodun uygulanabilmesi için VRP Solver yazılımı kullanılmıştır. Mahalle içerisindeki dağıtım uygulamasında VRP Solver yazılımının Depth, Iteration, 2-Opt, Or-Opt[1] değişkenleri değiştirilerek optimum sonuçlar karşılaştırılmıştır.

4.2.2.1. Veri Oluşturma

Hastaneden mahallelere ilaç sevkiyatı senaryosunda optimal rotayı oluşturmak adına VRP Solver yazılımına girdi oluşturması için Şekil 19'da gösterilen Çankaya'nın 9 mahallesineve Ankara Bilkent Şehir Hastanesi'ne ait koordinat bilgileri Tablo 7'de gösterildiği gibi oluşturulmuştur. Çankaya'nın 117 mahallesine ait koordinat bilgisinin olduğu tablo EK-3 ÇANKAYA İLÇESİ MAHALLELERİNE İLİŞKİN BİLGİLER başlığı altında verilmiştir. Koordinat bilgileri Google Haritalarda mahallelerin muhtarlıklarına ait enlem, boylam bilgileri alınarak oluşturulmuştur.

Tablo 7 – Mahalle Koordinat Bilgileri

	X	Y
Ankara Şehir Hastanesi	32,756396	39,900458
100.Yıl Mahallesi	32,869625	39,904566
50.Yıl Mahallesi	32,882070	39,924233
Ahlathbel Mahallesi	32,745905	39,834457
Akpınar Mahallesi	32,816157	39,862722
Alacaathı Mahallesi	32,674078	39,845865
Anıttepe Mahallesi	32,837957	39,932472
Arka Topraklık Mahallesi	32,875800	39,918913
Aşağı Dikmen Mahallesi	32,852430	39,851954
Aşağı İmrahor Mahallesi	32,895165	39,901604
⋮	⋮	⋮

Taleplerin belirlenmesi için ise TÜİK'ten alınan 31 ARALIK 2020 TARİHLİ ADRESE DAYALI NÜFUS KAYIT SİSTEMİ (ADNKS) SONUÇLARI kullanılmıştır. 20 Nisan 2021 günü açıklanan resmi yeni vaka sayısı olan 61,793 kişi 80,000,000'a bölünmüş ve çıkan oran her bir mahalle nüfusu ile çarpılarak o mahalledeki o gün için yeni vaka sayısı belirlenmiştir. Mahallelere ait nüfus bilgisi ve varsayılan günlük vaka sayısı Tablo 8'de gösterilmiştir. Tablo 8'de örnek 9 mahalle için veriler gösterilmiş olup, 117 mahalleye ilişkin veriler EK-4 ÇANKAYA İLÇESİ MAHALLERİNİN NÜFUS VE TAHMİNİ GÜNLÜK VAKA BİLGİLERİ başlığı altında verilmiştir.

Tablo 8 - Çankaya Mahalleleri Nüfus ve Günlük Vaka Sayısı

	Nüfus	Günlük Vaka (Talep)
Ankara Şehir Hastanesi	U/D	U/D
100.Yıl Mahallesi	5433	4
50.Yıl Mahallesi	840	1
Ahlathıbel Mahallesi	9939	8
Akpınar Mahallesi	12384	10
Alacaatlı Mahallesi	38647	30
Anıttepe Mahallesi	4768	4
Arka Topraklık Mahallesi	2389	2
Aşağı Dikmen Mahallesi	11380	9
Aşağı İmrahor Mahallesi	180	0
⋮	⋮	⋮

Problemin en önemli noktalarından birisi de kısıtların belirlenmesidir. Kullanılan İHA'nın faydalı yük taşıma kapasitesi, uçuş süresi ve kumanda menzili başlıca kısıtları oluşturmaktadır. Burada kullanılan aracın faydalı yük taşıma kapasitesi 11300 gram olarak belirtilmiştir. Bu problem özelinde bir kişi için taşınan ilaç paketinin 250 gram olduğu varsayılmıştır. Bu sebeple VRP yazılımında araç kapasitesi 45 olarak belirlenmiştir. Kullanılan aracın iletişim menzili olan 60 km'de uzaklık limiti olarak yazılıma girilmiştir.

Mahalle içerisinde hastalara ilaç sevkiyatı senaryosunda optimal rotayı oluşturmak adına VRP Solver yazılımına girdi oluşturması için Şekil 20'da görülen HES uygulaması haritasında her bir alan için koordinat ve talep bilgileri Tablo 9'da gösterildiği gibi oluşturulmuştur. HES uygulamasında koordinat bulunamamaktadır bu nedenle alınan ekran görüntüsü üzerinden bölge parsellere ayrılmış ve 1 numaralı parselin sol alt köşeyi

0 noktası olacak şekilde koordinatlar belirlenmiştir. Tablo 9’da örnek 10 bölge için gösterilen parsel bilgilerinin tamamı EK-5 ALACAATLI MAHALLESİ HES UYGULAMASI YOĞUNLUK HARİTASI VE PARSEL BİLGİLERİ başlığı altında verilmiştir.

Tablo 9 - Parsel Bilgileri

	X	Y	D
1	-0,1	0,1	5
2	-0,3	0,1	0
3	-0,5	0,1	5
4	-0,7	0,1	5
5	-0,9	0,1	0
6	-1,1	0,1	10
7	-1,3	0,1	5
8	-1,5	0,1	0
9	-1,7	0,1	0
10	-1,9	0,1	0
⋮	⋮	⋮	⋮

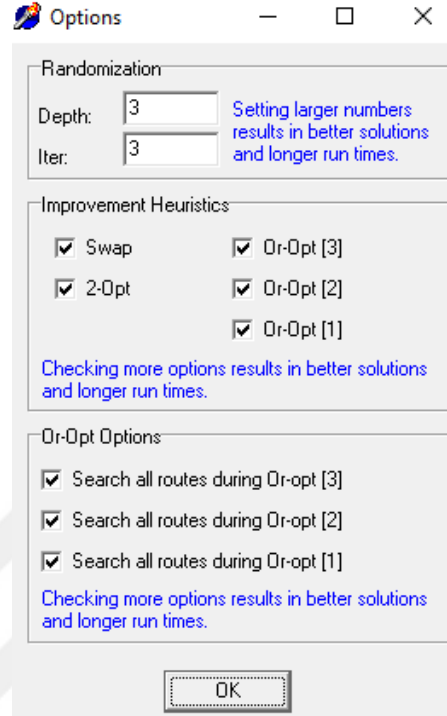
Yazılımın koordinat sistemi ile çalışılan görselin tutarlı olabilmesi için x eksenindeki değerler – olarak girilmiştir. Tablo bütün parseller için oluşturulduktan sonra talepler büyükten küçüğe doğru sıralanmış ve talep olamayan bölgeler hesaplama katılmaması için yazılıma girdi olarak alınmamıştır.

Problemin en önemli noktalarından birisi de kısıtların belirlenmesidir. Kullanılan İHA’nın faydalı yük taşıma kapasitesi, uçuş süresi ve kumanda menzili başlıca kısıtları oluşturmaktadır. Burada kullanılan aracın faydalı yük taşıma kapasitesi 4500 gram olarak belirtilmiştir. Bu problem özelinde bir kişi için taşınan ilaç paketinin 250 gram olduğu varsayılmıştır. Bu sebeple VRP yazılımında araç kapasitesi 22 olarak belirlenmiştir. Kullanılan aracın iletişim menzili olan 30 km’de uzaklık limiti olarak yazılıma girilmiştir.

4.2.2.2. Araç Rotalama Problemi Uygulaması

Oluşturulan veriler ile rotalama çözümü oluşturmak adına VRP Solver yazılımı kullanılmıştır. Tablo 9’da gösterilen veriler .txt doysasına yazılmış ve bu dosya yazılıma yüklenmiştir. Sonrasında İHA’nın özelliklerine istinaden belirlenen maksimum kapasite

45 ve maksimum menzil 60 km olacak şekilde kısıtlar girilmiştir. Çözüm için Şekil 21’de gösterildiği gibi rastgelelik değerleri Depth ve Iteration 1,3 ve 5 olacak şekilde 3 farklı

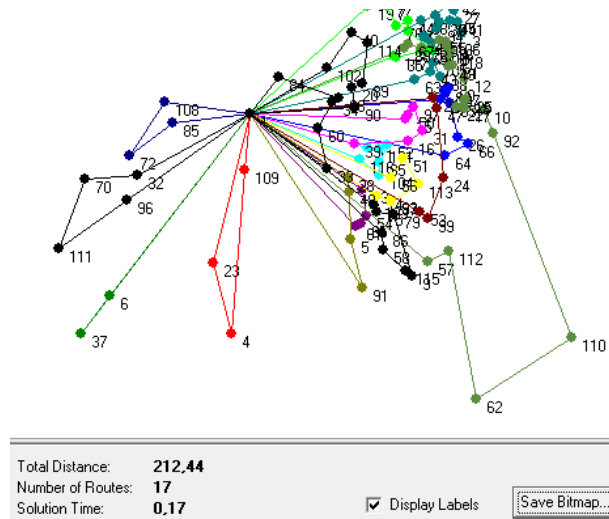
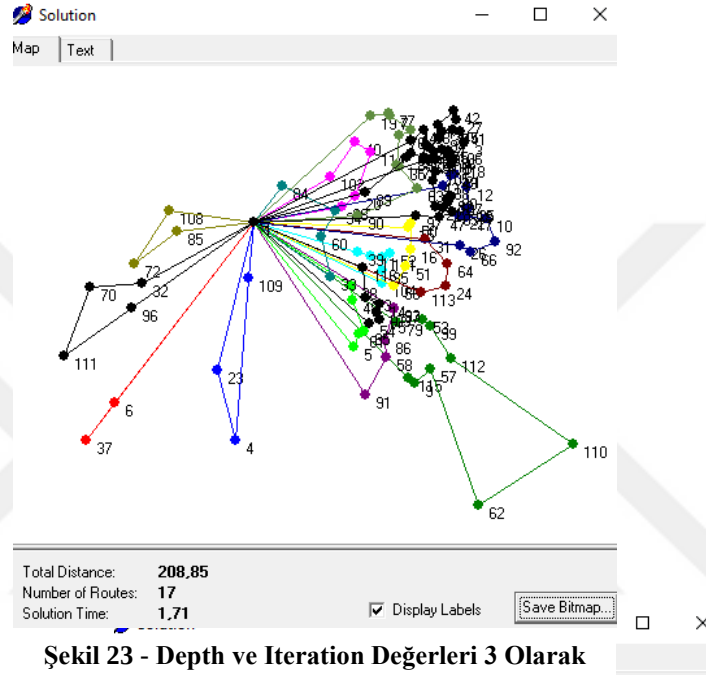


Şekil 21 - VRP Çözüm Seçenekleri

çözüm gerçekleştiriş, ve bütün çözümlerde gelişmiş sezgisellerden Swap ve Opt seçenekleri aktifleştirilmiştir.

Çözüm ilk önce Depth ve Iteration değeri 1 olarak seçilerek gerçekleştirilmiştir. Sonuç grafiği Şekil 22’de gösterilen çözümün tamamlanma süresi 0,17 saniye olmuştur. Toplam 17 İHA ile oluşturulan çözüm kümesinde toplam mesafe 212,44 km olmuştur.

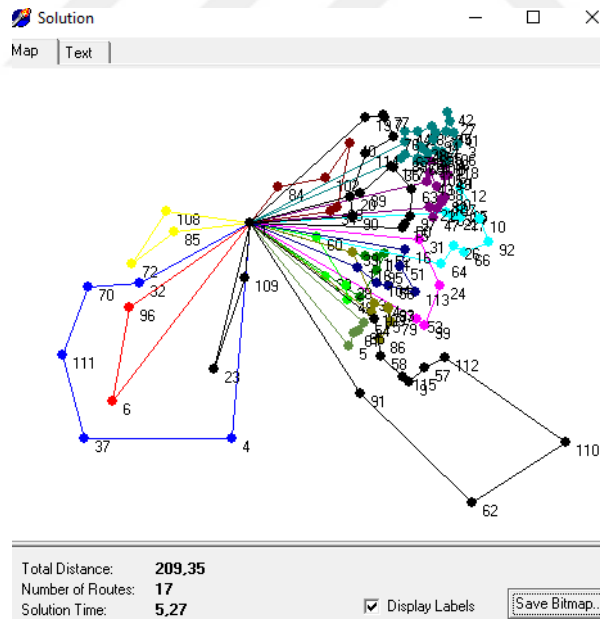
İkinci çözümde Depth ve Iteration değerleri 3 olarak seçilerek gerçekleştirilmiştir. Sonuç grafiği Şekil 23’de gösterilen çözümün tamamlanma süresi 1,71 saniye olmuştur. Toplam 17 İHA ile oluşturulan çözüm kümesinde toplam mesafe 208,85 km olmuştur.



Üçüncü çözümde ise Depth ve Iteration değerleri 5 olarak seçilerek gerçekleştirilmiştir. Sonuç grafiği Şekil 24'de gösterilen çözümün tamamlanma süresi 5,27 saniye olmuştur. Toplam 17 İHA ile oluşturulan çözüm kümesinde toplam mesafe 209,35 km olmuştur

Depth ve Iteration değerleri değiştirilmesine rağmen toplam İHA sayısında değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir. Veri setinin büyük olması ve İHA'nın taşıma kapasitesi ve menzil kapasitesinin çok belirleyici kısıtlar olması sebebi ile çözümler arasında toplam İHA sayısında değişiklik olmadığı değerlendirilmiştir. Bunun yanında Depth ve Iteration değerleri arttırıldıkça çözüm süresinin uzadığı gözlemlenmiştir. Optimal sonuç ise her iki değer için de 3 seçildiğinde elde edildiği gözlemlenmiştir. Çözümün de 1,71 saniye gibi son derece kısa bir sürede bulunduğu görülmüştür.

Tedarik zincirinin diğer kısmı olan evlere İHA'lar ile ilaçların taşınması için de VRP Solver yazılımı kullanılmıştır. Bu çözümü oluştururken VRP Solver yazılımında bulunan Depth, Iteration, 2-Opt, Or-Opt[1], Or-Opt[2], Or-Opt[3] değişkenleri farklı kombinasyonlar ile çalıştırılmış ve sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır. Kullanılan kombinasyonlar ve bu kombinasyonlar sonrasında elde edilen sonuçlar Tablo 10'da



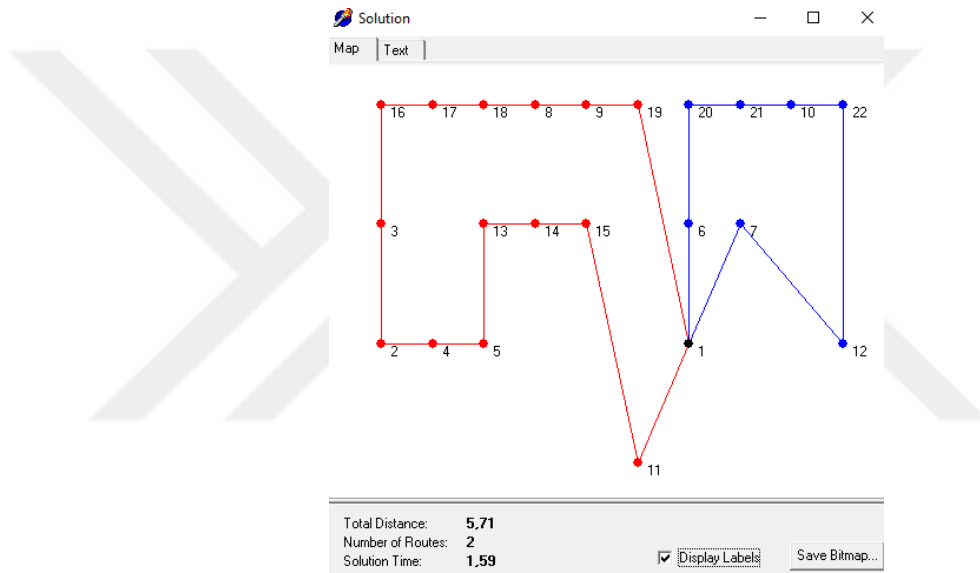
Şekil 24 - Depth ve Iteration Değerleri 5 Olarak Seçilen Çözüm

gösterilmiştir.

Tablo 10 - VRP Solver Çözüm Kombinasyonları

Rastgelelik		Sezgisel Geliştirmeler					İHA Sayısı	Süre (s)	Toplam Mesafe (km)
Derinlik	İterasyon	Swap	2-Opt	Or-Opt[3]	Or-Opt[2]	Or-Opt[1]			
10	10	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	2	0,02	5,99
10	10	Evet	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	2	0,03	5,99
10	10	Evet	Evet	Hayır	Hayır	Hayır	2	0,28	5,71
10	10	Evet	Evet	Evet	Hayır	Hayır	2	0,45	5,71
10	10	Evet	Evet	Evet	Evet	Hayır	2	0,39	5,71
10	10	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	2	0,36	5,71
15	15	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	2	0,89	5,71
5	5	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	2	0,09	5,71
3	3	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	2	0,02	5,71
20	20	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	2	0,09	6,03
50	50	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	2	0,65	5,86
100	100	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	2	1,82	5,86
20	20	Evet	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	2	0,53	5,95
20	20	Evet	Evet	Hayır	Hayır	Hayır	2	1,49	5,71
20	20	Hayır	Hayır	Evet	Evet	Evet	2	0,83	5,71
20	20	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	2	1,59	5,71

Kombinasyonlarda rastgesellik değerlerinin artırılması ve sezgisellerin birlikte kullanılmasının en iyi sonucu verdiği gözlemlenmiştir. Bu uygulamada çözüm kümesi çok büyük olmadığı için bütün sezgisellerin kullanıldığı kombinasyonlar denenmiş ve sonuç alınabilmiştir. En iyi sonuçlara bütün sezgisellerin kullanıldığı kombinasyonlarda erişilmiştir. Sezgiseller olmadan rastgelelik değerlerini arttırmanın her zaman iyi sonuç vermediği de görülmüştür. Sezgisellerin kullanılmasının sonucu her zaman iyi yönde etkilediği görülmüştür. Çeşitli kombinasyonların sonucunda en optimal sonuç olarak 2 İHA ile 5,71 km’lik toplam mesafe bulunmuştur. Sonuçlara istinaden bulunan optimal rotalardan bir tanesi Şekil 25’te gösterilmiştir.



Şekil 25 - Optimal Rotalama

SONUÇ

Sürekli gelişmekte olan insansız hava aracı endüstrisi gün geçtikçe sensörlerin çeşitlenmesi ve otonomi yeteneklerinin artması ile birlikte çok daha fazla sektörde aktif olarak kullanılacaktır. Bu çalışma ile birden fazla İHA'nın kullanıldığı alanlarda ekonomik ve insan hatasını en aza indirgeyen bir sistemin ilk aşaması olan rotalama işlemini ele alınmıştır. Birden fazla İHA için görev paylaşımı gerçekleştirilmesi ve bu görevleri gerçekleştirmek üzere atanan rotaların belirlenmesi otonom bir sistem tasarımı için ihtiyaç duyulan ilk aşamalardandır.

Çalışma kapsamında günümüz pandemi koşullarında İHA kullanılabilecek uygulamalar belirlenmiş ve bu uygulamalarda birden fazla İHA'nın bir merkezden hareket ederek önceden belirlenmiş noktaları hangi sıra ile hangi rotada gezmesi gerektiği üzerinde durulmuştur. Kurgulanan problemlerde İHA'ların batarya kapasiteleri / uçuş süreleri ve faydalı yük taşıma kapasiteleri kısıt olarak kullanılmıştır. Problemlerin çözümünde küme örtüleme modeli, Gezgin Satıcı Problemi, Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi modellerinden faydalanılmıştır. Bunun yanı sıra sezgisel yöntem temelli Clarke ve Wriğth algoritmasını çalıştıran hazır VRP Solver yazılımı kullanılmıştır.

Bu çalışmada gösterilen örnekler toplum yardımına uygulamalar olmasına karşın bu çözümler farklı alanlara da uygulanabilir. Örneğin ilaç toplama uygulaması aynı çözüm ile zirai alanlarda ilaçlama yapılması problemi için de kullanılabilir. Ya da gözetleme probleminde kullanılan çözüm afet sonrası yönetimi uygulamaları için rahatlıkla uyarlanabilir bir çözümdür.

Çalışmada gerçekleştirilen uygulamalarda önceden belirlenmiş ve değişken olmayan talepler ile problem kurgulanmış ve çözülmüştür. Bu çalışmayı bir adım daha ileriye taşımak adına taleplerin zaman içerisinde değiştiği ve İHA'ların bu taleplere uygun olarak çözüm ürettiği dinamik bir çözüm geliştirilebilir. Böylece gerçek hayatta daha uygulanabilir bir çözüm ortaya çıkarılabilir. Zaman unsurunun çözüme eklenmesi ile birlikte İHA'ların çarpışmamaları adına aynı anda aynı noktada bulunmamalarına yönelik bir kısıt da uygulamak geliştirilebilecek alanlardan biridir.

KAYNAKÇA

- Applegate , D., Bixby , R., Chvátal, V., & Cook, W. (2006). *The Traveling Salesman Problem: A Computational Study*. OXFORD: Princeton University Press.
- Barnhart, R., Marshall, D., & Shappee, E. (2012). *Introduction to Unmanned Aircraft Systems*. CRC Press.
- Bortoff, S. A. (2000). Path Planning for UAVs. *American Control Conference*. Chicago, Illinois.
- Boualem Rabta, C. W. (2018). A drone fleet model for last-mile distribution in disaster relief operations. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 107-112.
- Bravo, R. Z., Leiras, A., & Oliveira, F. L. (2018). The Use of UAVs in Humanitarian Relief: An Application of POMDP-Based Methodology for Finding Victims. *Production and Operations Management*, 421-440.
- Chang, Y. S., & Lee, H. J. (2018). Optimal delivery routing with wider drone-delivery areas along a shorter truck-route. *Expert Systems with Applications*, 307-317.
- Coelho, B. N., Coelho, V. N., Coelho, I. N., Ochi, L. S., Haghazadeh, R., Zuidema, D., . . . da Costa, A. R. (2017). A multi-objective green UAV routing problem. *Computers & Operations Research*, 306-315.
- Coutinho, W. P., Battarra, M., & Fliege, J. (2018). The unmanned aerial vehicle routing and trajectory optimisation problem, a taxonomic review. *Computers & Industrial Engineering*, 116-128.
- Elmas, D. A. (2019). İnsansız Hava Araçlarında Araç Rotalama Problemi Üzerine. *Yüksek Lisans Tezi*. Ankara.
- Ercan, C., & Gencer, C. (2013). İNSANSIZ HAVA SİSTEMLERİ ROTA PLANLAMASI DİNAMİK ÇÖZÜM METOTLARI VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi c.1 s.2*, 51-72.

- Eryavuz, M., & Gencer, C. (2001). ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİNE AİT BİR UYGULAMA. *SDÜ İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*; Vol 6, No 1, 139-155.
- Faied, M., Girard, A., & Mostafa, A. (2010). Vehicle Routing Problem Instances: Application to Multi-UAV Mission Planning. *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference*.
- G. B. Dantzig, J. H. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science Volume 6, Issue 1*, 1-140.
- Garcia-Aunon, P., Roldán, J., & Barrientos, A. (2019). Monitoring traffic in future cities with aerial swarms: Developing and optimizing a behavior-based surveillance algorithm. *Cognitive Systems Research*, 273-286.
- Girici, A., & Akarsu, T. (2019). Resilient Deployment of Drone Base Stations. *2019 International Symposium on Networks, Computers and Communications*, 1-5.
- Güngör, İ. (2016). KÜMELEME PROBLEMLERİNE KÜME ÖRTÜLEME MODELİ YAKLAŞIMI VE BİR UYGULAMA. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*.
- Joseph Y.J. Chow. (2016). Dynamic UAV-based traffic monitoring under uncertainty as a stochastic arc-inventory routing policy. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 167-185.
- K. Dorling, J. H. (2017). Vehicle Routing Problems for Drone Delivery. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 70-85.
- Keskindürk, Topuk, N., & Özyeşil, O. (2015). Araç Rotalama Problemleri ile Çözüm Yöntemlerinin Sınıflandırılması ve Bir Uygulama. *Sakarya Üniversitesi İşletme Bilimi Dergisi*, 77-107.
- Lambert, T. (2018). *Optimization of Drone Routing for Humanitarian Applications*. Liege.
- Liu, Y. (2019). An optimization-driven dynamic vehicle routing algorithm for on-demand meal delivery using drones. *Computers & Operations Research*, 1-20.

- Macrina, G., Pugliese, L. D., Guerriero, F., & Laporte, G. (2020). Drone-aided routing: A literature review. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*.
- Maddalon, J., Hayhurst, K., Koppen, D., Upchurch, J., Morris, A., & Verstynen, H. (2013). *Perspectives on Unmanned Aircraft Classification for Civil Airworthiness Standards*. Hampton, Virginia: National Aeronautics and Space Administration.
- Matrice 300 RTK - Specifications - DJI. (2021, 03 30). <https://www.dji.com/matrice-300/specs> adresinden alındı
- Moshref-Javadi, M., & Winkenbach, M. (2021). Applications and Research avenues for drone-based models in logistics: A classification and review. *Expert Systems With Applications*.
- Murphy, R., Gandudi, V. B., & Adams, J. (2020). Applications of Robots for COVID-19 Response.
- Nonami, K. (2007). Prospect and recent research and development for civil use autonomous unmanned aircraft as UAV and MAV. *Journal of System Design and Dynamics*, 120-128.
- Office of the Chairman of the Joint Chiefs of Staff. (2010). *DOD Dictionary of Military and*. Washington DC: The Joint Staff.
- Ozkan , O., & Atli , O. (2021). Transporting COVID-19 testing specimens by routing unmanned aerial vehicles with range and payload constraints: the case of Istanbul. *Transportation Letters*, 482-491.
- Patchou, M., Sliwa, B., & Wietfeld, C. (2021). Flying Robots for Safe and Efficient Parcel. *IEEE International Systems Conference* (s. 1-7). IEEE.
- Poikonen, S., & Campbell, J. F. (2021). Future directions in drone routing research. *Networks*, 77:116-126.
- Quan, Q. (2017). *Introduction to Multicopter Design and Control*. Springer.
- Rao, A., & Hegde, S. (2015). Literature Survey On Travelling Salesman Problem Using Genetic Algorithms. *International Journal of Advanced Research in Education Technology (IJARET)*, Vol. 2, Issue 1.

- Ryan, J., Bailey, T., Moore, J., & Carlton, W. (1998). Reactive Tabu Search in unmanned aerial reconnaissance simulations. *1998 Winter Simulation Conference. Proceedings vol. 1*, 873-879.
- Sara Imran Khan, Z. Q. (2021). UAVs path planning architecture for effective medical emergency response in future networks. *Physical Communication*.
- Scott, J. E., & Scott, C. H. (2017). Drone Delivery Models for Healthcare. *50th Hawaii International Conference on System Sciences*. Hawaii.
- Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü. (2016, 02 22). İNSANSIZ HAVA ARACI SİSTEMLERİ TALİMATI.
- Technology - Drone Delivery Canada. (2021, 05 07). <https://dronedeliverycanada.com/technology/> adresinden alındı
- Ural, H. (2018, Nisan). SÜRÜ HALİNDE GÖREV YAPAN İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI VE TEKNOLOJİLERİ. Ankara.
- Viloria, D. R., Solano-Charris, E. L., Muñoz-Villamizar, A., & Montoya-Torres, J. R. (2020). Unmanned aerial vehicles/drones in vehicle routing problems: a literature review. *International Transactions in Operational Research*, 1626-1657.
- Weinstein, A., & Schumacher, C. (2007). UAV Scheduling via the Vehicle Routing Problem with Time Windows (Preprint).
- Williams, A., & Scharre, P. (2015). *Autonomous Systems: Issues for Defence Policymakers*.
- Yurek, E., & Ozmutlu, C. (2018). A decomposition-based iterative optimization algorithm for traveling salesman problem with drone. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 249-262.

EKLER

EK-1 MUNİH ŞEHİRİ PARSELLERİ ARASINDAKİ MESAFELER

[illegible]

**EK-2 MUNİH ŞEHİRİ BELİRLENEN PARSELLERİN KONUMLARI VE
TALEPLERİ**

	X(m)	Y(m)	X(km)	Y(km)	Talep
0	1800	-2000	1,8	-2	0
1	3200	-1400	3,2	-1,4	25
2	2800	-1400	2,8	-1,4	0
3	2400	-1400	2,4	-1,4	0
4	2000	-1400	2	-1,4	0
5	1600	-1400	1,6	-1,4	0
6	1200	-1400	1,2	-1,4	0
7	800	-1400	0,8	-1,4	0
8	400	-1400	0,4	-1,4	0
9	3200	-1000	3,2	-1	50
10	2800	-1000	2,8	-1	25
11	2400	-1000	2,4	-1	10
12	2000	-1000	2	-1	0
13	1600	-1000	1,6	-1	10
14	1200	-1000	1,2	-1	0
15	800	-1000	0,8	-1	15
16	400	-1000	0,4	-1	0
17	3200	-600	3,2	-0,6	50
18	2800	-600	2,8	-0,6	50
19	2400	-600	2,4	-0,6	0
20	2000	-600	2	-0,6	25
21	1600	-600	1,6	-0,6	0
22	1200	-600	1,2	-0,6	0
23	800	-600	0,8	-0,6	10
24	400	-600	0,4	-0,6	0
25	3200	-200	3,2	-0,2	25
26	2800	-200	2,8	-0,2	10
27	2400	-200	2,4	-0,2	0
28	2000	-200	2	-0,2	0
29	1600	-200	1,6	-0,2	50
30	1200	-200	1,2	-0,2	50
31	800	-200	0,8	-0,2	50
32	400	-200	0,4	-0,2	0
33	3200	200	3,2	0,2	0
34	2800	200	2,8	0,2	0
35	2400	200	2,4	0,2	15
36	2000	200	2	0,2	35
37	1600	200	1,6	0,2	0
38	1200	200	1,2	0,2	25
39	800	200	0,8	0,2	10

40	400	200	0,4	0,2	0
41	3200	600	3,2	0,6	0
42	2800	600	2,8	0,6	0
43	2400	600	2,4	0,6	0
44	2000	600	2	0,6	10
45	1600	600	1,6	0,6	25
46	1200	600	1,2	0,6	10
47	800	600	0,8	0,6	15
48	400	600	0,4	0,6	0
49	3200	1000	3,2	1	0
50	2800	1000	2,8	1	0
51	2400	1000	2,4	1	10
52	2000	1000	2	1	15
53	1600	1000	1,6	1	15
54	1200	1000	1,2	1	10
55	800	1000	0,8	1	0
56	400	1000	0,4	1	0
57	3200	1400	3,2	1,4	10
58	2800	1400	2,8	1,4	0
59	2400	1400	2,4	1,4	0
60	2000	1400	2	1,4	10
61	1600	1400	1,6	1,4	0
62	1200	1400	1,2	1,4	0
63	800	1400	0,8	1,4	0
64	400	1400	0,4	1,4	25

695

EK-3 ÇANKAYA İLÇESİ MAHALLELERİNE İLİŞKİN BİLGİLER

		Nüfus	Koordinatlar		Vaka Sayısı
1	Ankara Şehir Hastanesi		-32,7564	39,900458	
2	100.Yıl Mahallesi	5433	-32,86963	39,904566	4
3	50.Yıl Mahallesi	840	-32,88207	39,924233	1
4	Ahlatlıbel Mahallesi	9939	-32,74591	39,834457	8
5	Akpınar Mahallesi	12384	-32,81616	39,862722	10
6	Alacaatlı Mahallesi	38647	-32,67408	39,845865	30
7	Anıttepe Mahallesi	4768	-32,83796	39,932472	4
8	Arka Topraklık Mahallesi	2389	-32,8758	39,918913	2
9	Aşağı Dikmen Mahallesi	11380	-32,85243	39,851954	9
10	Aşağı İmrahor Mahallesi	180	-32,89517	39,901604	0
11	Aşağı Öveçler Mahallesi	8107	-32,82642	39,890239	6
12	Aşıkpaşa Mahallesi	9363	-32,88372	39,910769	7
13	Ata Mahallesi	11595	-32,82323	39,87769	9
14	Aydınlar Mahallesi	5921	-32,83157	39,875806	5
15	Ayrancı Mahallesi	17069	-32,84847	39,898825	13
16	Aziziye Mahallesi	10986	-32,8506	39,892225	9
17	Bademlidere Mahallesi	2127	-32,88368	39,90187	2
18	Bağcılar Mahallesi	2897	-32,88341	39,904275	2
19	Bahçelievler Mahallesi	10470	-32,82635	39,932376	8
20	Balgat Mahallesi	3287	-32,81713	39,908058	3
21	Barbaros Mahallesi	5616	-32,86484	39,90488	4
22	Bayraktar Mahallesi	4490	-32,87906	39,902153	3
23	Beytepe Mahallesi	11286	-32,7351	39,855557	9
24	Birlik Mahallesi	30558	-32,87145	39,881293	24
25	Boztepe Mahallesi	1514	-32,88449	39,904586	1
26	Büyükesat Mahallesi	8545	-32,87956	39,89343	7
27	Cebeci Mahallesi	4891	-32,877	39,930994	4
28	Cevizlidere Mahallesi	13078	-32,81503	39,881183	10
29	Cumhuriyet Mahallesi	107	-32,85976	39,923393	0
30	Çamlıtepe Mahallesi	5831	-32,86906	39,927834	5
31	Çankaya Mahallesi	7967	-32,85837	39,895132	6
32	Çayyolu Mahallesi	6326	-32,6904	39,882116	5
33	Çiğdem Mahallesi	13675	-32,80209	39,884061	11
34	Çukurambar Mahallesi	13115	-32,80566	39,903826	10
35	Devlet Mahallesi	8914	-32,84348	39,917195	7
36	Dilekler Mahallesi	430	-32,87327	39,920042	0
37	Dodurga Mahallesi	10401	-32,65688	39,834603	8
38	Doğuş Mahallesi	2650	-32,86941	39,911434	2
39	Ehlibeyt Mahallesi	2879	-32,81887	39,891111	2
40	Emek Mahallesi	22102	-32,81707	39,92447	17
41	Ertuğrulgazi Mahallesi	6787	-32,87968	39,9278	5

42	Erzurum Mahallesi	2837	-32,87605	39,933766	2
43	Esatoğlu Mahallesi	3370	-32,86339	39,912834	3
44	Eti Mahallesi	2103	-32,85049	39,928028	2
45	Fakülteler Mahallesi	5958	-32,87494	39,928097	5
46	Fidanlık Mahallesi	1143	-32,8606	39,922872	1
47	Gaziosmanpaşa Mahallesi	3711	-32,86716	39,901708	3
48	Gökkuşığı Mahallesi	8409	-32,81574	39,876662	7
49	Göktürk Mahallesi	3835	-32,87446	39,914452	3
50	Güvenevler Mahallesi	9035	-32,8506	39,899817	7
51	Güzeltepe Mahallesi	6065	-32,84739	39,886974	5
52	Harbiye Mahallesi	19893	-32,8381	39,890989	15
53	Hilal Mahallesi	6649	-32,85738	39,870798	5
54	Huzur Mahallesi	17200	-32,82587	39,869978	13
55	İleri Mahallesi	4285	-32,86894	39,922047	3
56	İlkadım Mahallesi	13117	-32,84012	39,881308	10
57	İlkbahar Mahallesi	13189	-32,86162	39,856026	10
58	İlker Mahallesi	3003	-32,83549	39,859812	2
59	İncesu Mahallesi	3006	-32,86411	39,921254	2
60	İşçi Blokları Mahallesi	16938	-32,7972	39,896005	13
61	Karapınar Mahallesi	9330	-32,81955	39,86685	7
62	Karataş Mahallesi	741	-32,89063	39,815219	1
63	Kavaklıdere Mahallesi	5927	-32,85405	39,910383	5
64	Kazım Özalp Mahallesi	5196	-32,87178	39,887712	4
65	Keklik Pınarı Mahallesi	14427	-32,82248	39,867275	11
66	Kırkkonaklar Mahallesi	18802	-32,88575	39,891415	15
67	Kızılay Mahallesi	1320	-32,85018	39,921052	1
68	Kızılırmak Mahallesi	6355	-32,80921	39,90503	5
69	Kocatepe Mahallesi	677	-32,8579	39,918959	1
70	Konutkent Mahallesi	8652	-32,65946	39,880647	7
71	Korkutreis Mahallesi	923	-32,85047	39,924989	1
72	Koru Mahallesi	14572	-32,68575	39,887747	11
73	Küçükesat Mahallesi	2598	-32,86636	39,929547	2
74	Kültür Mahallesi	3794	-32,86116	39,919078	3
75	Malazgirt Mahallesi	6168	-32,83157	39,870821	5
76	Maltepe Mahallesi	8617	-32,84361	39,926378	7
77	Mebusevleri Mahallesi	4157	-32,83692	39,933316	3
78	Meşrutiyet Mahallesi	575	-32,85809	39,919948	0
79	Metin Akkuş Mahallesi	2829	-32,84199	39,87018	2
80	Metin Oktay Mahallesi	5096	-32,87384	39,908231	4
81	Mimar Sinan Mahallesi	3503	-32,87652	39,914738	3
82	Muhsin Ertuğrul Mahallesi	3107	-32,87156	39,907361	2
83	Murat Mahallesi	3532	-32,87493	39,903331	3
84	Mustafa Kemal Mahallesi	7368	-32,77341	39,911205	6
85	Mutlukent Mahallesi	20004	-32,71086	39,897584	15

86	Mürsel Uluç Mahallesi	17903	-32,83489	39,864727	14
87	Naci Çakır Mahallesi	9490	-32,8405	39,874258	7
88	Namık Kemal Mahallesi	11	-32,8481	39,919775	0
89	Nasuh Akar Mahallesi	3633	-32,82318	39,909374	3
90	Oğuzlar Mahallesi	7075	-32,81831	39,90241	5
91	Oran Mahallesi	11875	-32,82296	39,848494	9
92	Orta İmrahor Mahallesi	279	-32,9002	39,894257	0
93	Osman Temiz Mahallesi	9737	-32,83988	39,87463	8
94	Ön Cebeci Mahallesi	4490	-32,86701	39,925506	3
95	Öveçler Mahallesi	8950	-32,83363	39,885994	7
96	Prof. Dr. Ahmet Taner Kışlalı Mahallesi	19400	-32,68382	39,874419	15
97	Remzi Oğuz Arık Mahallesi	5100	-32,85317	39,902183	4
98	Sağlık Mahallesi	627	-32,85767	39,927864	0
99	Sancak Mahallesi	11263	-32,86164	39,869067	9
100	Seyranbağları Mahallesi	6594	-32,86471	39,91887	5
101	Sokullu Mehmet Paşa Mahallesi	8657	-32,8331	39,889881	7
102	Söğütözü Mahallesi	5352	-32,80256	39,914166	4
103	Şehit Cengiz Karaca Mahallesi	7592	-32,83002	39,873052	6
104	Şehit Cevdet Özdemir Mahallesi	8554	-32,8332	39,881921	7
105	Tınaztepe Mahallesi	5429	-32,86501	39,915492	4
106	Topraklık Mahallesi	1621	-32,87268	39,921685	1
107	Umut Mahallesi	7584	-32,87296	39,906647	6
108	Ümit Mahallesi	14335	-32,70678	39,903828	11
109	Üniversiteler Mahallesi	23239	-32,7537	39,883353	18
110	Yakupabdal Mahallesi	4319	-32,94673	39,833513	3
111	Yaşamkent Mahallesi	22154	-32,64398	39,859969	17
112	Yeşilkent Mahallesi	577	-32,8742	39,859394	0
113	Yıldızevler Mahallesi	12687	-32,85635	39,8793	10
114	Yukarı Bahçelievler Mahallesi	15359	-32,82635	39,921536	12
115	Yukarı Dikmen Mahallesi	8316	-32,84841	39,853581	6
116	Yukarı Öveçler Mahallesi	3921	-32,82193	39,886724	3
117	Yücetepe Mahallesi	4898	-32,8416	39,917467	4
118	Zafertepe Mahallesi	2440	-32,87399	39,917781	2



**EK-4 ÇANKAYA İLÇESİ MAHALLERİNİN NÜFUS VE TAHMİNİ
GÜNLÜK VAKA BİLGİLERİ**

		Nüfus	Tahmini Vaka Sayısı
		U/D	U/D
1	Ankara Şehir Hastanesi		
2	100.Yıl Mahallesi	5433	4
3	50.Yıl Mahallesi	840	1
4	Ahlatlıbel Mahallesi	9939	8
5	Akpınar Mahallesi	12384	10
6	Alacaatlı Mahallesi	38647	30
7	Anıttepe Mahallesi	4768	4
8	Arka Topraklık Mahallesi	2389	2
9	Aşağı Dikmen Mahallesi	11380	9
10	Aşağı İmrakor Mahallesi	180	0
11	Aşağı Öveçler Mahallesi	8107	6
12	Aşıkpaşa Mahallesi	9363	7
13	Ata Mahallesi	11595	9
14	Aydınlar Mahallesi	5921	5
15	Ayrancı Mahallesi	17069	13
16	Aziziye Mahallesi	10986	9
17	Bademlidere Mahallesi	2127	2
18	Bağcılar Mahallesi	2897	2
19	Bahçelievler Mahallesi	10470	8
20	Balgat Mahallesi	3287	3
21	Barbaros Mahallesi	5616	4
22	Bayraktar Mahallesi	4490	3
23	Beytepe Mahallesi	11286	9
24	Birlik Mahallesi	30558	24
25	Boztepe Mahallesi	1514	1
26	Büyükesat Mahallesi	8545	7
27	Cebeci Mahallesi	4891	4
28	Cevizlidere Mahallesi	13078	10
29	Cumhuriyet Mahallesi	107	0
30	Çamlıtepe Mahallesi	5831	5
31	Çankaya Mahallesi	7967	6
32	Çayyolu Mahallesi	6326	5
33	Çiğdem Mahallesi	13675	11
34	Çukurambar Mahallesi	13115	10
35	Devlet Mahallesi	8914	7
36	Dilekler Mahallesi	430	0
37	Dodurga Mahallesi	10401	8
38	Doğuş Mahallesi	2650	2
39	Ehlibeyt Mahallesi	2879	2
40	Emek Mahallesi	22102	17
41	Ertuğrulgazi Mahallesi	6787	5

42	Erzurum Mahallesi	2837	2
43	Esatoğlu Mahallesi	3370	3
44	Eti Mahallesi	2103	2
45	Fakülteler Mahallesi	5958	5
46	Fidanlık Mahallesi	1143	1
47	Gaziosmanpaşa Mahallesi	3711	3
48	Gökkuşığı Mahallesi	8409	7
49	Göktürk Mahallesi	3835	3
50	Güvenevler Mahallesi	9035	7
51	Güzeltepe Mahallesi	6065	5
52	Harbiye Mahallesi	19893	15
53	Hilal Mahallesi	6649	5
54	Huzur Mahallesi	17200	13
55	İleri Mahallesi	4285	3
56	İlkadım Mahallesi	13117	10
57	İlkbahar Mahallesi	13189	10
58	İlker Mahallesi	3003	2
59	İncesu Mahallesi	3006	2
60	İşçi Blokları Mahallesi	16938	13
61	Karapınar Mahallesi	9330	7
62	Karataş Mahallesi	741	1
63	Kavaklıdere Mahallesi	5927	5
64	Kazım Özalp Mahallesi	5196	4
65	Keklik Pınarı Mahallesi	14427	11
66	Kırkkonaklar Mahallesi	18802	15
67	Kızılay Mahallesi	1320	1
68	Kızılırmak Mahallesi	6355	5
69	Kocatepe Mahallesi	677	1
70	Konutkent Mahallesi	8652	7
71	Korkutreis Mahallesi	923	1
72	Koru Mahallesi	14572	11
73	Küçükesat Mahallesi	2598	2
74	Kültür Mahallesi	3794	3
75	Malazgirt Mahallesi	6168	5
76	Maltepe Mahallesi	8617	7
77	Mebusevleri Mahallesi	4157	3
78	Meşrutiyet Mahallesi	575	0
79	Metin Akkuş Mahallesi	2829	2
80	Metin Oktay Mahallesi	5096	4
81	Mimar Sinan Mahallesi	3503	3
82	Muhsin Ertuğrul Mahallesi	3107	2
83	Murat Mahallesi	3532	3
84	Mustafa Kemal Mahallesi	7368	6
85	Mutlukent Mahallesi	20004	15

86	Mürsel Uluç Mahallesi	17903	14
87	Naci Çakır Mahallesi	9490	7
88	Namık Kemal Mahallesi	11	0
89	Nasuh Akar Mahallesi	3633	3
90	Oğuzlar Mahallesi	7075	5
91	Oran Mahallesi	11875	9
92	Orta İmrahor Mahallesi	279	0
93	Osman Temiz Mahallesi	9737	8
94	Ön Cebeci Mahallesi	4490	3
95	Öveçler Mahallesi	8950	7
96	Prof. Dr. Ahmet Taner Kışlalı Mahallesi	19400	15
97	Remzi Oğuz Arık Mahallesi	5100	4
98	Sağlık Mahallesi	627	0
99	Sancak Mahallesi	11263	9
100	Seyranbağları Mahallesi	6594	5
101	Sokullu Mehmet Paşa Mahallesi	8657	7
102	Söğütözü Mahallesi	5352	4
103	Şehit Cengiz Karaca Mahallesi	7592	6
104	Şehit Cevdet Özdemir Mahallesi	8554	7
105	Tınaztepe Mahallesi	5429	4
106	Topraklık Mahallesi	1621	1
107	Umut Mahallesi	7584	6
108	Ümit Mahallesi	14335	11
109	Üniversiteler Mahallesi	23239	18
110	Yakupabdal Mahallesi	4319	3
111	Yaşamkent Mahallesi	22154	17
112	Yeşilkent Mahallesi	577	0
113	Yıldızevler Mahallesi	12687	10
114	Yukarı Bahçelievler Mahallesi	15359	12
115	Yukarı Dikmen Mahallesi	8316	6
116	Yukarı Öveçler Mahallesi	3921	3
117	Yücetepe Mahallesi	4898	4
118	Zafertepe Mahallesi	2440	2

**EK-5 ALACAATLI MAHALLESİ HES UYGULAMASI YOĞUNLUK
HARİTASI VE PARSEL BİLGİLERİ**

		0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9
0,7		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
0,5		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0,3		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0,1		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

	X	Y	D
1	-0,1	0,1	0
2	-0,3	0,1	0
3	-0,5	0,1	0
4	-0,7	0,1	0
5	-0,9	0,1	0
6	-1,1	0,1	1
7	-1,3	0,1	0
8	-1,5	0,1	0
9	-1,7	0,1	0
10	-1,9	0,1	0
11	-0,1	0,3	3
12	-0,3	0,3	2
13	-0,5	0,3	2
14	-0,7	0,3	0
15	-0,9	0,3	0
16	-1,1	0,3	0
17	-1,3	0,3	0
18	-1,5	0,3	0
19	-1,7	0,3	0
20	-1,9	0,3	1
21	-0,1	0,5	3
22	-0,3	0,5	0
23	-0,5	0,5	1
24	-0,7	0,5	1
25	-0,9	0,5	1
26	-1,1	0,5	0
27	-1,3	0,5	2
28	-1,5	0,5	2
29	-1,7	0,5	0

30	-1,9	0,5	0
31	-0,1	0,7	1
32	-0,3	0,7	1
33	-0,5	0,7	1
34	-0,7	0,7	2
35	-0,9	0,7	2
36	-1,1	0,7	1
37	-1,3	0,7	1
38	-1,5	0,7	1
39	-1,7	0,7	2
40	-1,9	0,7	1

