



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

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINDA ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

Dilara Aybala ELMAS

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2019

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINDA ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

Dilara Aybala ELMAS

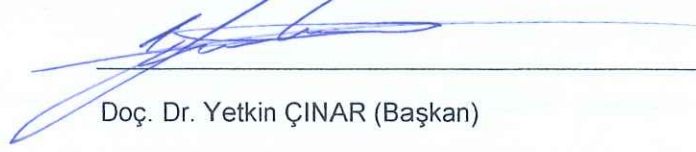
Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
İşletme Anabilim Dalı
Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi


Ankara, 2019


KABUL VE ONAY


Dilara Aybala ELMAS tarafından hazırlanan "İnsansız Hava Araçlarında Araç Rotalama Problemi" başlıklı bu çalışma, 29 Mayıs 2019 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.


Doç. Dr. Yetkin ÇINAR (Başkan)


Prof. Dr. Aydın ULUCAN (Danışman)


Doç. Dr. Kazım Barış ATICI (Üye)


Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÇİMEN (Üye)


Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Bahadır ŞİMŞEK (Üye)

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım.

Prof. Dr. Musa Yaşar SAĞLAM

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⁾

29/05/2019



Dilara Aybala ELMAS

“*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 **danışmanınun** 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 **danışmanınun** 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 **danışmanınun** 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 özgün olduğunu, Prof. Dr. Aydın ULUCAN danışmanlığında tarafımdan üretildiğini ve Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Yönergesine göre yazıldığımı beyan ederim.



Dilara Aybala ELMAS

TEŐEKKÖRLER

Bu tez çalıŐmasının hazırlanmasında bana her konuda destek olan, değerli yardım ve katkıları ile beni yönlendiren değerli tez danışman hocam Prof. Dr. Aydın ULUCAN'a,

Her zaman desteklerini arkamda hisettiğim, hayatımın her evresinde yanımda olan kıymetli annem Füsün GÖLÖM, babam Prof. Dr. etin ELMAS, ablam Elif Ece ELMAS, abim Emrullah Kağan ELMAS ve niŐanlım Yiğit ACARBAY'a en içten sevgi, saygı ve teŐekkÖrlerimi sunuyorum.

Bu çalıŐmayı anneme ithaf ediyorum.

ÖZET

Dilara Aybala ELMAS. *İnsansız Hava Araçlarında Araç Rotalama Problemi Üzerine*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2019

İnsansız Hava Araçları (İHA) günümüzde askeri ve toplum faydasına gibi birçok alanda kullanılan pilotsuz hava araçlarıdır. Sağladıkları maliyet, hız ve risk taşımama özelliklerinden dolayı kullanımları sıkça tercih edilmektedir. Görevini gerçekleştirirken İHA'ların rotalarının belirlenmesi görev performansında büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada İHA'ların toplum faydasına kullanımının önemine dikkat çekmek ve insanlığa sağladığı faydalar gösterilmek istenmiştir. Bu sebeple, İHA'lar, özellikleri ve kullanım alanları ile literatürde yer alan araç rotalama çalışmaları incelenmiştir. Daha sonra yapılan iki uygulama ile İHA'ların ulaşılması zor köylere sağlık malzemeleri taşımaları ve ormanlık alanlarda yangın gözetleme görevini gerçekleştirmeleri üzerine çalışılmıştır. Bu uygulamalarda örnek test senaryolarının karşılaştırılması ile İHA'ların özelliklerinin ve kullanıldıkları durumların değişmesinin performanslarına etkisi incelenmiştir.

Anahtar Sözcükler

İnsansız Hava Araçları, Kapasite Kısıtlı ARP, GSP, Tıbbi İHA

ABSTRACT

Dilara Aybala ELMAS, On Vehicle Routing Problem of Unmanned Air Vehicles, Master Thesis, Ankara, 2019

Unmanned Air Vehicles (UAV) are air vehicles without pilot and they are used in many areas like military and humanitarian operations. UAV's provide lots of cost contributions because of their low cost, speed and no risk properties. Vehicle routing is very important issue for UAV' performance improvement when the UAV's perform their task.

This study aims to take attention to the use of UAV's to the benefit of society. For this reason, UAV's, their technical properties and literature studies about UAV's vehicle routing was investigated. Then, it has been studied that vehicles carry health supplies to hard-to-reach villages and perform fire surveillance tasks in forested areas with perform two practices. In this practices, the effect of changing the characteristics of vehicles and their use on their performance was investigated with comparison of sample scenarios.

Key Words

Unmanned Air Vehicles, Capacitated VRP, TSP, Medical Drone

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI	ii
ETİK BEYAN	iii
TEŞEKKÜRLER	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
GİRİŞ	1
1. BÖLÜM	3
İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI VE TOPLUM FAYDASINA KULLANIMI	3
1.1. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ TOPLUM FAYDASINA KULLANIMI	3
1.2. İHA'LARIN DÜNYADA KULLANIM ÖRNEKLERİ	5
1.3. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ KULLANILMASININ FAYDALARI VE ZORLUKLARI	6
1.4. İHA TEKNOLOJİLERİ	8
1.4.1. İHA'nın Ana Bileşenleri	8
1.5. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ TÜRLERİ VE SINIFLANDIRILMASI	9
1.5.1 Stratejik İnsansız Hava Araçları	10
1.5.2 Taktik İnsansız Hava Araçları	11
1.5.3 Özel Amaçlı İnsansız Hava Araçları	11
2. BÖLÜM	12

ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ	12
2.1. GEZGİN SATICI PROBLEMİ	12
2.2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ	14
2.3. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ TÜRLERİ.....	15
2.3.1 Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi	16
2.4. LİTERATÜRDE YER ALAN İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İLE ARAÇ ROTALAMA ÇALIŞMALARI	19
2.5. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ.....	21
2.5.1. Kesin Çözüm Yöntemlerinin İncelenmesi.....	21
2.5.2. Klasik Sezgisel Çözüm Yöntemlerinin İncelenmesi.....	22
2.5.3. Modern Sezgisel Çözüm Yöntemlerinin İncelenmesi	23
2.5.3.1. Karınca Kolonisi Algoritması.....	23
3. BÖLÜM.....	27
ÇALIŞMANIN AMACI VE PROBLEMİN TANIMLANMASI.....	27
3.1. PROBLEM TANIMI	27
3.2. MATEMATİKSEL MODEL	29
3.2.1 Oluşturulan Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi	29
3.2.2 Oluşturulan Gezgin Satıcı Problemi Modeli.....	32
3.3. KULLANILAN YAZILIM.....	33
3.4. SAYISAL ÖRNEKLERİN TEST EDİLMESİ.....	34
3.4.1 Kan Numunelerinin İnsansız Hava Araçları İle Sevk Edilmesi Uygulaması	34
3.4.1.1 Verinin Oluşturulması.....	38
3.4.1.2 Sayısal Sonuçlar	40
3.4.2 Ormanlık Bölgelerin İnsansız Hava Araçları İle Gözetlenmesi Uygulaması	54
3.4.2.1 Verinin Oluşturulması.....	56

3.4.2.2 Sayısal Sonuçlar	57
SONUÇ	65
KAYNAKÇA	67
EKLER	73
Ek 1. Orijinallik Raporu	73
Ek 2. Etik Komisyon Muafiyeti Formu	74
Ek 3. Birinci Uygulama Koordinat Bilgileri	75
Ek 4. Belirlenen Noktalarının Birbiri Arasındaki Mesafeleri	76
Ek 5. M1.1 Oluşturulan Araç Rotası	77
Ek 6. M1.2 Oluşturulan Araç Rotası	78
Ek 7. M1.3 Oluşturulan Araç Rotası	79
Ek 8. M1.4 Oluşturulan Araç Oluşturulan Uygun Çözüm Rotası	80
Ek 9. M1.5 Oluşturulan Araç Rotası	81
Ek 10. M1.6 Oluşturulan Araç Rotası	82
Ek 11. Birinci Uygulama Test Senaryolarının u_i Değişkeni	83
Ek 12. M1.4 Yazılım Girdisi	84
Ek 13. Euclidean Uzaklıklar	85
Ek 14. İkinci Uygulama Test Senaryoları Girdisi	86
Ek 15. Yazılım Sonucu	93
Ek 16. M1.5 Karayolu İle Uzaklık	96

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1 Birinci Uygulama Test Senaryoları	34
Tablo 2. Birinci Uygulama Karşılaştırma Yapılma Amacı.....	36
Tablo 3. Köy Nüfusları	39
Tablo 4. Birinci Uygulama Test Senaryoları Çözümleri	41
Tablo 5. Uygulama 1, Test Senaryosu 6, Parametre Değerleri	50
Tablo 6. Birinci Uygulama Test Senaryoları Karşılaştırma Sonuçları	53
Tablo 7. İkinci Uygulama Test Senaryoları	54
Tablo 8. İkinci Uygulama Karşılaştırma Yapılma Amacı	55
Tablo 9. İkinci Uygulama Test Senaryoları Çözümleri	57
Tablo 10. İkinci Uygulama Test Senaryoları Karşılaştırma Sonuçları	64

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. İHA'ların Günümüzde Kullanım Alanları	4
Şekil 2. Örnek Bir İHA Yapısı	9
Şekil 3. İnsansız Hava Araçlarının Sınıflandırılması	10
Şekil 4. ARP Örneği	15
Şekil 5. Araç Rotalama Problemi Çeşitleri	16
Şekil 6. Tasarruf Algoritması Görseli	23
Şekil 7. Düz Yolda İlerleyen Karıncalar	24
Şekil 8. Karşılarına Engel Çıkan Karıncalar	24
Şekil 9. Karıncaların Tekrar Yol Belirlemesi	25
Şekil 10. Şemdinli ve Çukurca İlçesi Seçilen Köyler	27
Şekil 11. Marmaris Milli Parkı Haritası	29
Şekil 12. M1.1 Araç Rotası	42
Şekil 13. M1.2 Araç Rotası	43
Şekil 14. M1.3 Araç Rotası	44
Şekil 15. M1.4 Araç Rotası	47
Şekil 16. M1.5 Araç Rotası	48
Şekil 17. İHA- Binek Araç Alınan Mesafeler (km)	49
Şekil 18. M1.6 Araç Rotası	51
Şekil 19. M2.1 Araç Rotası	58
Şekil 20. M2.2 Birinci Bölge Araç Rotası	59
Şekil 21. M2.2 İkinci Bölge Araç Rotası	60
Şekil 22. M2.2 Üçüncü Bölge Araç Rotası	61
Şekil 23. M2.3 Araç Rotası	62
Şekil 24. Toplam Günlük Mesafe (Km) ve Toplam Araç Sayısı	63

GİRİŞ

İnsansız Hava Araçları günümüzde askeri ve insani operasyonlar başta olmak üzere birçok alanda etkin bir şekilde kullanılmaktadır. İnsanlı hava araçlarına ve kara araçlarına göre daha düşük maliyet imkânı ile problemlere daha çevik bir şekilde cevap vermesinden dolayı İHA'lara gösterilen ilginin önümüzdeki yıllarda da gittikçe artacağı görülmektedir. Günümüzde bu araçlar, gözetleme ve taşıma amaçlı birçok alanda kullanılmaktadır.

Dağlık ve ormanlarla çevrili ülkelerde zaman zaman tıbbi yardım malzemelerinin taşınmasında ve zamanında yardımların iletilmesinde zorluklar yaşanmaktadır. Yine terör tehdidi altında bulunan bölgelere tıbbi yardım malzemelerinin zamanında ve risk taşımadan taşınması büyük önem içermektedir. Bu amaçla İHA'lar aracılığıyla tıbbi yardımların ve malzemelerin ulaşılması zor bölgelere taşınması sıkça kullanılmaya başlanmış bir taşıma yöntemidir. Ayrıca, ormanlık ve tarım alanların yangın ve tehlikeli durumlardan korunması, erken uyarılar ile yok olmalarının önüne geçilmesi sıkça ele alınan çalışma konularındandır ve doğal hayatın korunması için büyük önem taşımaktadır.

Yapılan bu tez çalışmasından İnsansız Hava Araçlarının Araç Rotalama Problemi ele alınmıştır. Bu çalışmanın ilk bölümünde İHA'ların toplum faydasına kullanılan ve kullanılabilir alanlar, dünyada hali hazırda büyük şirketler ve kurumlardaki kullanım örnekleri, İHA'ların tercih edilmesinin topluma sağlayacağı yararlar ve bu yararların karşısında oluşturduğu riskler ele alınmıştır. Ardından İnsansız Hava Araçlarının teknik özellikleri incelenmiştir. Bu araçların ana bileşenleri, sınıflandırılmaları ve türlerine değinilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde, İHA'lar Araç Rotalama Problemi çerçevesinde incelenmiştir. Bunun için ilk olarak, literatürde yer alan Gezgin Satıcı Problemi ve Araç Rotalama Problemleri incelenmiştir. Yapılacak uygulamada kullanılacağından dolayı, ayrıca Araç Rotalama Problemlerinden Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi ve bununla ilgili yapılmış çalışmalar incelenmiştir. Ardından literatürde yer alan İHA'ların araç rotalamada kullanıldığı çalışmalara değinilmiştir. Daha sonra, problemin çözümünde ne tür yöntemler izlendiği ve bu yöntemlerden lineer

ve sezgisel yöntemler ayrı ayrı ele alınmıştır. Çalışmanın son aşaması olan üçüncü bölümde uygulama yapılan çalışma alanları, çalışmanın amacı ve uygulamada ele alınan problemlerin tanımlanması yapılmıştır. Uygulama problemler için oluşturulan matematiksel modeller gösterilmiş, her bir uygulama için oluşturulan test senaryoları ve ne amaçla oluşturuldukları anlatılmıştır. Daha sonra kurulan modeller çizgisinde çözdürülen test senaryoları incelenmiş ve İHA'ların Araç Rotalama Problemi detaylı örnekler ile ele alınmıştır. Son olarak çalışmada Sonuç başlığı içerisinde tezin akademik katkısı verilmiştir.

Yapılan bu çalışmanın İnsansız Hava Araçlarının toplum faydasına kullanımının önemine dikkat çekmek ve maliyet, zaman gibi konularda büyük yarar sağladığını göstermek istenmiştir.

1. BÖLÜM

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI VE TOPLUM FAYDASINA KULLANIMI

1.1. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ TOPLUM FAYDASINA KULLANIMI

Literatürde İnsansız Hava Araçları (İHA), uçuş ekibine bir diğer deyişle pilota sahip olmadan, aerodinamik uçuş prensiplerine göre aralıksız olarak otomatik ya da yarı otomatik uçabilme özelliğine sahip araçlar olarak tanımlanır. (Saripalli, Montgomery, & Sukhatme, 2003). Geleneksel havacılık yöntemlerine göre, düşük risk ve maliyetli olduğundan dolayı İHA'lar sivil ve askeri uygulamalar çeşitli havacılık uygulamalarında büyük önem taşımaktadır. 1849 yılında Avusturya tarafından, İtalya Venedik'e yollanan içi bomba dolu pilotsuz balonlar ile yapılan saldırının tarihte ilk kez İHA kullanımına örnek olduğu kabul edilir. Daha sonra İHA'lar 1950'lerden bu yana askeri uygulamaların araştırma alanlarında yer almaktadır. İlk gerçek anlamda İHA örnekleri keşif, saldırı ve gözetleme amacıyla birinci ve ikinci dünya savaşlarında kullanılmıştır. (Rawat ve Lawrence, 2014)

İHA'ların ana kullanım alanları gözetleme, keşif ve askeri istihbarattır. Birçok insanı operasyonlar İHA'lar kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları; ((Çömert, Avdan, Şenkal, 2012) , (İnternet, 2016) , (Canis, 2015))

- Afet yönetimlerinde İHA'ların kullanılması sıkça başvurulan kullanım alanlarından. Doğal ya da doğal olmayan afetlerde, hızla alanın haritalanması ve afete yönelik önlemlerin alınması İHA kullanımlarında büyük önem taşır.
- Arkeolojik çalışmalarda İHA'ların kullanılması da sıkça tercih edilen çalışma yöntemlerinden biridir.
- Ormanlık alanların böceklerden ve kaçak ağaç kesimlerinden korunması için izlenmesinde İHA'lar kullanılmaktadır. Ayrıca, büyük alanlarda yetişen tarım ürünlerinin izlenmesinde, bu ürünlerden numune alınmasında, yine bu alanlarda otlayan geniş hayvan sürülerinin güvenliliğinin sağlanması için izlenmesinde ve çekilen görüntüler ile ürün tahminlemesi yapılmasında İHA'lar kullanılmaktadır.

- Üzerine eklenen yüksek yetenekli görüntü alabilen kameralar sayesinde kayıp kişilerin bulunması ve eklenen ses ile gürültü algılama sensörleri sayesinde silahlı olayları kolayca fark edilmesinde kullanılması İHA'ların kamu yararına kullanıldığı alanlardır.
- Büyük inşatlarda iş güvenliğinin izlenmesinde ve alınan görüntüler ile inşaat yapısının kontrol edilmesinde ve termal görüntü alabilen kameralarının yetenekleri sayesinde bina yalıtımlarının ısı kontrollerinde İHA'lar kullanılmaktadır.
- Demiryolu gözetlemelerinde uzun mesafe uçabilen İHA'lar kullanılmaktadır. Üzerine eklenen sensörler ile kolayca hat üzerinde meydana gelen hasarlar veya tehlike yaratan durumlar kolayca fark edilmektedir.
- Dağlık ve şehirden uzak bölgelerde yer alan baz istasyonlarının merkezi bir bölgeden kontrol edilmesinde yine enerji hatlarının uzaktan izlenmesinde kullanılmaktadır.
- Yabani hayvanların tespiti, sayılarının belirlenmesi, davranışlarının gözlenmesi gibi hayvanların korunması için de kullanılmaktadırlar.
- Uzaktan kontrol ile ağaç fidelerinin gömülmesinde kullanılmaktadırlar.

Aşağıdaki Şekil 1'de Xingbang Yang, tarafından 2015 yılında oluşturulan İHA'ların günümüzde kullanım alanları verilmektedir.

Sivil Uygulamalar			
Afet Kurtarma	Açık deniz teknolojisi	Ekosistem izleme	Deniz Koruma
Araştırma	Yapı denetleme	Su örnekleme	Keşif
Hava tahmin ölçümleri	Maden araştırması	Okyanus madenciliği	Yüzey görüntüleme
Geri Besleme	Deniz haritasının Oluşturulması	Bitki ve hayvan izleme	Özel alanların gözetlenmesi

Şekil 1. İHA'ların Günümüzde Kullanım Alanları

Bunların yanı sıra toplum faydasına birçok değişik görevde kullanılmaktadırlar. Bunlardan bazıları ((Odom, 2002), (Goraj, 2003)):

- Hedef tespiti ve hedef takibi,
- Mayın tespiti ve imha çalışmaları,
- Nükleer, biyolojik ve kimyasal kirlilik tespiti,
- Hava durumu tahmini,
- Yangın tespiti ve ormanlık alan izleme,
- Arama ve kurtarma çalışmaları,
- Mal sevkiyatları
- Yemek taşımaları
- Günlük trafik izlemeler ve trafik yönetimi
- Park kullanımı
- Sivil güvenlik çalışmaları,
- Haberleşme ve elektronik harp,
- Fiziksel saldırı ve tahrip,
- Sınır güvenliği ve sınır izleme,
- Atmosferik ve denizaltı gözlem,
- Tarımsal gözlem ve ilaçlama,
- Bilimsel araştırmalar.

1.2. İHA'LARIN DÜNYADA KULLANIM ÖRNEKLERİ

Gelişen teknolojiler ile İHA'lar askeri çalışmaların yanı sıra günlük işlerde de kullanılmaktadır. Kaliforniya'da yer alan bir şirket olan Matternet şirketinde, 2011 yılından beri birçok ülkede sağlık ürünlerinin ve kan örneklerinin İHA'lar ile taşınmasını test etmektedir. Şirketin CEO'suna göre İHA'ların sağlık sektöründe kullanılması, aynı taşımaların büyük kamyonlar ile birden fazla test laboratuvarına yapılmasına göre çok daha ucuz, enerji kazandıran ve zaman tasarruflu bir uygulamadır. 2013 yılında Amazon şirketinin CEO'su olan JEFF Bezos tarafından İHA'ların mal teslimatlarında taşınmasının planlandığı duyuruldu. Bu olay büyük bir şaşkınlık yaratmıştır. Bu plana göre, paketler İHA'lar ile otuz dakika içinde müşterilere ulaşılacaktı. Amazon'un duyurduğu iş modelinde İHA'lar, parselleri doğrudan bir

depodan müşterilere ulaştırmayı hedeflemekteydi. Ancak, sınırlı pil ömrü ve taşınan paket ağırlığı gibi teknik özellikler nedeniyle, İHA'ların her uçuş sırasında bir müşteriyi ziyaret etmesi ve her müşteri ziyaretinden sonra depoya geri dönmesi ile iş modeli sınırlandırılmıştır. Depoya geri dönen insansız hava aracı ancak bir sonraki müşterinin paketi yüklendikten sonra bir sonraki müşteri ziyaretini gerçekleştirebilir. 2016 yılında da Silikon Vadisinde Zipline adlı bir şirket kurulmuş ve bu şirket ile Rwanda'da ilaçların taşınmasını İHA'lar ile yapılmaya başlanmıştır. Yine 2016 yılında Mercedes-Benz "tavana monte insansız hava araçları (İHA) ve robotik paket sıralama cihazları" kullanan "drone donanımlı bir kamyonet" kavram aracı açıkladı. (Banker, 2016). Ardından 2017 yılında bir Japon şirketi olan Rakuten, Sora Kaku adını verdiği hizmetini duyurdu. Bu hizmet ile birlikte, golf oynanan alanlarda, golf ekipmanları, atıştırmalık yiyecekler, gazlı içecekler ve sporcuların ihtiyacı olan küçük çaplı hafif ürünler İHA'lar ile taşınmaya başlanmıştır. Aynı yıl, Google Wing adını verdiği servisini duyurdu. Bu servis ile doğal afet sonrası gibi durumlarda ilaç, yiyecek ve içecek taşımalarının İHA'lar ile yapılması projelendirilmiştir. (Haa, ve diğerleri, 2018) 2017 yılında UPS tarafından, geleneksel teslimat kamyonunu drone ile iletişim kuracak şekilde değiştirerek bir droneun ve bir kamyonun birlikte dağıtımını başarıyla test ettiğini açıklandı (Crowe, 2017). Ayrıca El Cezire ve BBC gibi kuruluşlar büyük toplumsal olayların görüntülenmesinde İHA'ları kullanmaya başlamıştır. (İnternet, 2016) Dünyada posta servislerinde İHA'ların kullanılması ilk olarak 2014 yılında Fransız posta kurumu olan LaPoste ile başlamıştır. 2015 yılında ise İsviçre'de posta servisinde belge, dokümanların 20 km'lik bir alanda İHA ile taşınması üzerine bir uygulama test edilmiştir.

1.3. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ KULLANILMASININ FAYDALARI VE ZORLUKLARI

İHA'lar, yüksek seyahat hızları ve ulaşılamaz bölgelere ulaşabilme yeteneklerinden dolayı son nokta ürün teslimatlarında kullanılmaya çok uygundur. İHA'lar ile insanlı hava araçları ve uydular karşılaştırıldığında, İHA'ların görülen temel avantajları şunlardır: ((Korkmaz, İyibilgin ve Fındık, 2016.), (Zongjian, 2008), (Eisenbeiss, 2009)).

- İmalat ve satın alma maliyetleri daha düşüktür.
- Yakıt ve işletme maliyetleri daha düşüktür. Bu sebeple İHA'lerden elde edilen fotoğrafların ve görüntülerin maliyetleri çok daha düşüktür.
- İnsansız olması sebebiyle kaza anında can kaybı riski yoktur.
- Eklenen sensörler ve kameralar sayesinde görüntü izleme ve aktarma kabiliyetleri yüksektir. Bu kabiliyetleri sayesinde kullanım alanları çok geniştir. Ayrıca bu sensörler sayesinde biyolojik ve nükleer tehdit algılama özelliklerine sahip olabilmektedirler.
- Çevre ve hava şartlarından daha az etkilenir. Uydular ve uçaklar olumsuz hava durumlardan veya bulutlu havalardan çok daha fazla etkilenir. Görüntü alma kapasitelerinde büyük düşüşler gerçekleşir.
- Pilot ihtiyacı olmadığı için, pilot eğitim maliyeti daha düşüktür.
- Havada kalma süreleri daha yüksektir.
- Günün her saati görev yapabilmektedir. Uçaklar ve uydular sadece belli zamanlarda uçuş gerçekleştirebilmektedir. Özellikle uydularda istenildiği zaman tekrar eden uçuş gerçekleştirmek mümkün olmamaktadır.
- Tekrar eden uçuş çok daha düşük maliyetlere gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca hızlı bir şekilde tekrar uçuşa hazır olabilmektedirler.
- Birçok İHA birlikte hareket edebildiği için, kısa sürede daha fazla alan tarayabilmektedir.

İHA'ların görülen temel dezavantajları şunlardır:

- Bir hava savunma mekanizmaları yoktur. Her türlü hava saldırısına açıktırlar.
- Tehlikeleri algılama ve karşı koyma yetenekleri çok düşüktür.
- Kaza durumlarında hasarsız kurtulabilme ihtimali daha düşüktür.
- Yer kontrol kuleleri ile aralarındaki bağlantının kopması halinde, yerde yer alan her türlü canlı cansız için büyük risk taşımaktadır.
- Ulusal ve uluslararası hava sahaları ile ilgili her türlü kanun ve düzenlemelere uyma yükümlülükleri vardır.
- Yetersiz frekans bandına sahiptirler.

Türkiye'de 22 Şubat 2016 tarihinde yayınlanan talimata göre, 25 kg'dan düşük ağırlığa sahip İHA'ların kayıt altına alınması gerekmemektedir. Fakat daha yüksek ağırlığa

sahip İHA'lar satış işlemleri sırasında kayıt edilmek zorundadır ve tüm belirlenen uçuş koşullarından sorumludurlar.

1.4. İHA TEKNOLOJİLERİ

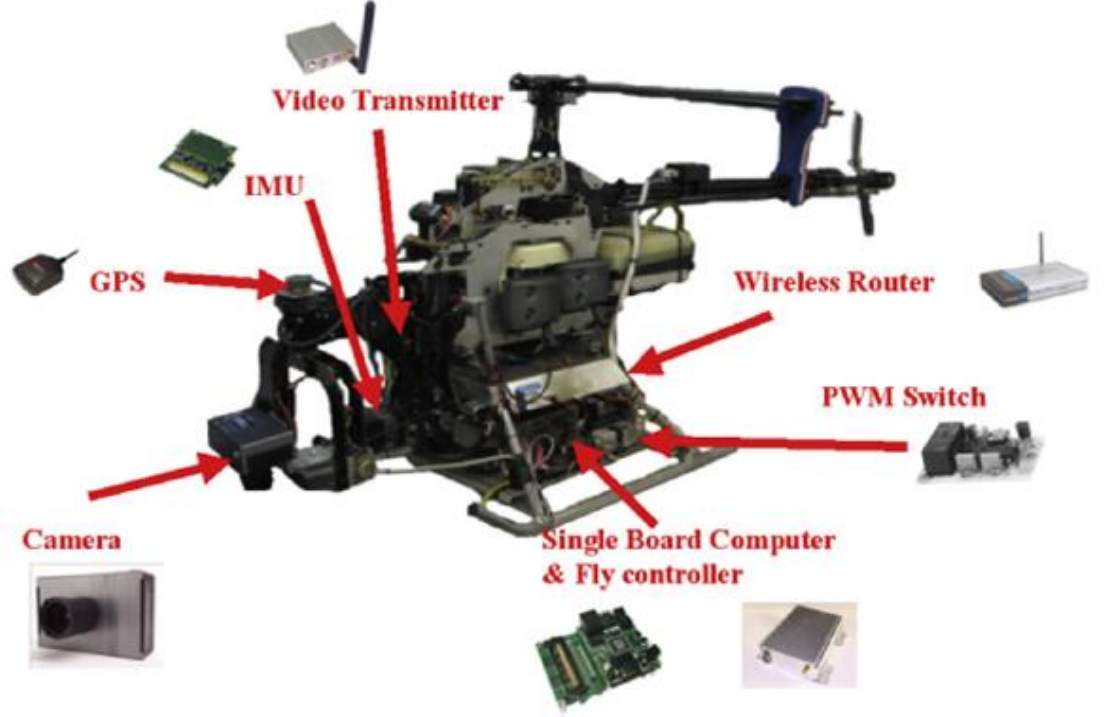
İnsansız Hava Araçlarına kullanım sebeplerine göre farklı algılayıcı sistemler kurulabilmektedir. Görüntü ve fotoğraf elde etmekte kullanılan kameralar, kızılötesi ve termal özelliklere sahip kameralar ve üzerlerine eklenen sıcaklık, gaz gibi durumların tespitinde kullanılan sensörler bu eklenen algılayıcı sistemleri oluşturmaktadır. İHA'lar hacim olarak küçük olmaları sebebiyle yüklenebildikleri yük miktarı da diğer hava araçlarına göre çok daha düşüktür. Bu sebeple, üzerlerinde kullanılan algılayıcılarında küçük ve hafif olması gerekmektedir. Bu da eklenen algılayıcı sistemlerin daha düşük özellikte olmalarına sebep olmaktadır (Eisenbeiss, 2009). Yine de sürekli ilerleyen teknoloji sayesinde İHA'lar otomatik pilot özelliklerine sahip olabilmektedirler. Bu özellikleri ile belirlenen uçuş rotalarına bir yönetim gerekmeden doğrudan kendi kontrol sistemleri sayesinde uçabilmektedirler. Üzerlerindeki konum bulmayı sağlayan algılayıcılar sayesinde, rota üzerinde geçiş yaptıkları ve aldıkları görüntülerin yaklaşık konumları kolayca bilinebilmektedir. (Xian. ve Tian, 2011).

1.4.1. İHA'nın Ana Bileşenleri

İHA'lar bütünleşmiş sistemlerden oluşmaktadır. İHA'ların üç ana bileşeni vardır. (Torun, 2017)

1. İHA gövdesini oluşturan bileşenler. Bunlar, kanatlar, iskelet, batarya/pil, pervaneler ve ana motordur.
2. İHA'nın kontrol bölümünü oluşturan bileşenler. Bunlar, elektronik algılayıcı kartlar, haberleşmeyi sağlayan elektronik sistem ve konumunun belirlemesini sağlayan GPS (Global Positioning System), GLONASS (Global Orbiting Navigation Satellite System) gibi sistemlerin bütünü olan GNSS (Global Navigation Satellite System) 'dir.
3. Kullanım sebebine yönelik eklenen donanım ve yazılımlar. Bunlar, kameralar, sensörler ve algılayıcılardan oluşmaktadır.

Aşağıdaki Şekil 2’de otomatik pilot özelliğine sahip İHA’ların örnek bir yapısı verilmektedir. (Xian. H ve Tian L., 2011).



Şekil 2. Örnek Bir İHA Yapısı

1.5. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ TÜRLERİ VE SINIFLANDIRILMASI

Birleşik Krallık Savunma Bakanlığı tarafından uçuş yüksekliği (irtifa), menzil ve havada kalma yeteneklerine göre İHA’lar sınıflandırılmıştır. Günümüzde birçok alanda kullanılan İHA’lar, mekanik özellikleri ve uçuş yeteneklerine göre değerlendirilmiş ve sınıflandırılmıştır ve Şekil 3’de verilmiştir. (Anonim, 2010).

Tablo 1.İnsansız Hava Araçların sınıflandırma tablosu (Anonim, 2010)
Table 1.Unmanned Aerial Vehicle classification table (Anonim, 2010)

Sınıf	Kategori	Standart Kullanım	Standart İrtifa Yüksekliği	Uçuş Menzili Yarıçapı	Birleşik Krallık Sınıflandırması	Örnek Platformlar
Sınıf I <150 kg	Mikro İHA <2 kg	Taktiksel, askeri, bireysel	<60 m	< 5 km	Grup 1 Küçük İHA'lar (< 20 kg)	Black Widow
	Mini İHA 2-20 kg	Taktiksel (Manuel kalkış özelliği)	< 900 m	< 25 km		ScanEagle, Skylark, Raven, DH3
	Küçük İHA >20 kg	Taktiksel amaçlar (Kalkış rampası vs)	< 1500 m	< 50 km	Grup 2 Hafif İHA'lar (20-150 kg)	Luna, Hermes 90
Sınıf II 150-600 kg	Taktik İHA	Taktiksel kullanım	< 3000 m	< 200 km	Grup 3 (>150 kg)	Sperwer, Iview 250, Hermes 450, Aerostar, Watchkeeper
Sınıf III >600 kg	Orta İrtifalı Uzun Süreli Uçuş	Operasyonel /Askeri	< 13000 m	Limitsiz		Predator A&B, Heron, Hermes 900
	Yüksek İrtifalı Uzun Süreli Uçuş	Stratejik /Ulusal	< 20000 m	Limitsiz		Global Hawk
	Yanıtıcı ve Saldırı İHA	Stratejik /Ulusal	< 20000 m	Limitsiz	-	

Şekil 3. İnsansız Hava Araçlarının Sınıflandırılması

İnsansız hava araçları birçok alt bileşene sahiplerdir. Yine de sınıflandırılmalarında genellikle yük taşıma kapasiteleri, yetenekleri ve büyüklükleri dikkate alınır. ((Chin ve Sern, 2009), (Austin R, 2010)):

1.5.1 Stratejik İnsansız Hava Araçları

Bu grupta Yüksek İrtifa Uzun Süreli Uçuş, özelliklerine sahip İHA'lar yer almaktadır.

- **Yüksek İrtifa Uzun Süreli Uçuş (HALE-High Altitude Long Endurance)**

Bu tür İHA'lar, 24 ile 48 saat arası havada uçuş yapabilen, uçuş yüksekliği (irtifası) 15 bin feetin üzeri İHA'lardır. En büyük kalkış ağırlıkları yaklaşık 1200 kg'dır. Silah yüklü bir şekilde kıtalar arası uçabilen bu İHA'lar, "Komutanların kapanmayan gözü" olarak da adlandırılır.

1.5.2. Taktik İnsansız Hava Araçları

Bu grupta Orta İrtifa Uzun Süreli Uçuş, Orta Mesafe ya da Taktik İHA ve Yakın Mesafe İHA özelliklerine sahip İHA'lar yer almaktadır

- Orta İrtifa Uzun Süreli Uçuş

Bu tür İHA'lar, 24 'e kadar havada uçuş yapabilen, uçuş yüksekliği (irtifası) 5 bin feet ile 15 bin feet arasındaki İHA'lardır. Misyon olarak yüksek irtifa uzun süreli uçuşa sahip İHA'lar ile benzer misyona sahiptir. (MALE- Medium Altitude Long Endurance)

- Orta Mesafe ya da Taktik İHA

Bu tür İHA'lar uçuş yüksekliği (irtifası) 100 km ile 300 km arasındaki İHA'lardır. Yüksek İrtifa Uzun Süreli Uçuş ve Orta İrtifa Uzun Süreli Uçuş özelliklerine sahip İHA'lara göre daha basit görevlerde kullanılmaktadır. (TUAV-Medium Range /Tactical UAV)

- Yakın Mesafe İHA

Bu tür İHA'lar uçuş yüksekliği (irtifası) en fazla 100 km'ye sahip İHA'lardır. Askeri keşif uçuşlarında, hedef belirlemelerde, hava ve hava alanı güvenliklerinin sağlanmalarının yanı sıra, trafik ve enerji hatlarının izlemeleri gibi günlük ve sivil amaçlarla da kullanılmaktadırlar. (Close-Range UAV)

1.5.3 Özel Amaçlı İnsansız Hava Araçları

Bu grupta Mini İHA ve Mikro İHA olarak adlandırılan İHA'lar ile sivil ve bilimsel araştırmalarda kullanılan tüm İHA'lar yer almaktadır. Ağırlıkları 20 kg'dan küçük, en fazla 30 km uçabilen, elden de atılmaları mümkün olan, kanat çırpabilen, havaş uçabilen ve havada asılı kalabilen İHA'lardır.

2. BÖLÜM

ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ

2.1. GEZGİN SATICI PROBLEMİ

Literatürde, bir satıcının bilinen bir noktadan çıkarak, gezmesi gereken tüm noktalara sadece bir kere uğramak şartıyla gezmesine ve son olarak başlangıç noktasına geri dönmesine, bu işi en kısa sürede ve en kısa yol giderek gezecek en iyi rotayı bulmasına Gezgin Satıcı Problemi-GSP (Travelling Salesman Problem-GSP) denir. (Ç, Alabaş, B. Dengiz, 2004)

GSP ilk olarak 1930'lu yıllarda çalışılmaya başlanmıştır. Daha sonra araştırmacılar ve akademisyenler tarafından üzerinde çalışılan önemli bir konu haline gelmiştir. Bu sebepler başlıca şunlardır; (Allaoua ve Brahim, 2015)

- GSP'nin bulunması istenen sonucun tanımlanması kolaydır. Fakat çözüm yolu zordur.
- Bu tip çözüm yolu zor problemlerin, uzun olmayan bir sürede en iyi çözümü bulması için kesin bir çözüm yolu bulunamamıştır.
- GSP ile yüksek sayıda gerçek insanlık problemleri modellenenabilir.
- Çalışma alanının genişliği sayesinde, aynı problem için farklı sonuçlar kolayca oluşturulabilir. Bu çözümlerin karşılaştırılması ile çözüm yolunun performansının ölçülmesi kolayca yapılabilir.

Gezgin Satıcı Problemi için oluşturulan matematiksel model aşağıda verilmiştir: (Laporte, 1992):

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 değişkeninin 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.

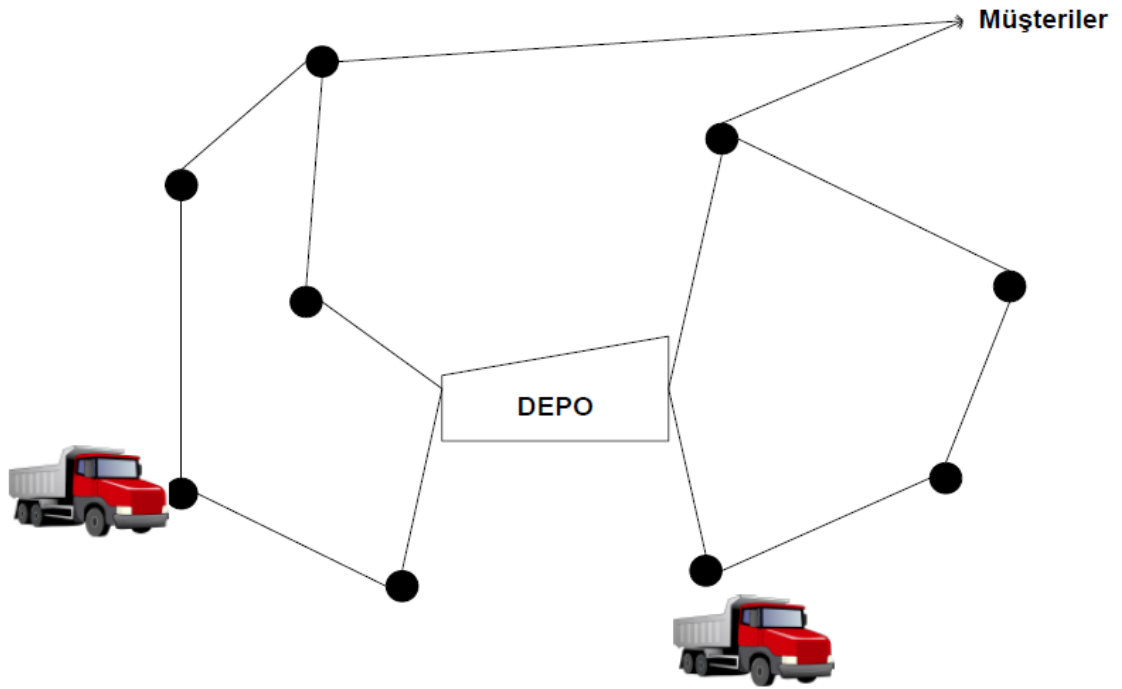
2.2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

Araç Rotalama Problemi-ARP (Vehicle Routing Problem-VRP) aynı veya farklı depolardan çıkan araçların depo ve araç kapasiteleri göz önüne alınarak ve en kısa yol gidilerek gezilecek tüm noktaların talep ihtiyaçlarının tamamının karşılanmasıdır. ARP, araçların çıkış yaptıkları noktalar olan depolara geri dönmek kaydıyla en kısa yol çizelgelemesini en kısa zamanda yapmasını sağlamaktadır. (Tan, 2001)

ARP ilk olarak 1959 yılında “Dantzig ve Ramser” tarafından incelenmiştir. Çalışmalarında benzin istasyonları arasında benzin dağıtımını üzerine çalışılmıştır. ARP birden fazla GSP'nin bir araya gelmesiyle oluştuğundan, m-GSP olarak da adlandırılmaktadır. GSP'den farklı olarak farklı araç kapasitelerine sahip olabilen birden fazla araç ile taşıma yapılır. ARP'de her bir aracın kendi rotası oluşturulurken, gezilmesi gereken noktalarında bir birinden farklı talepleri olabilmektedir. Tüm bu farklılıklardan dolayı, ARP fazlaca ilgi gören ve üzerinde çalışılan bir çalışma alanıdır (Toth, ve Vigo, 2002).

Depo yapılarına göre ARP problemleri farklılıklar göstermektedir. Problemden araçların ilk çıkış noktası kabul edilen depo birden fazla olması durumunda probleme Çoklu Depolu ARP'de denmektedir. Bu tür problemlerde her deponun kendine ait aracı vardır. Bu sebeple her deponun kendine ait bir ARP'si vardır da denebilir. Ayrıca ARP'de bir araç deposundan çıktıktan sonra bir diğer depoda yükünü boşaltabilir veya yüklenebilir. Depolar önceden bilinen yerler olmakla birlikte bilinmemesi durumunda, deponun neresi olması gerektiği ayrı bir problem oluşturmaktadır. Bu problemin çözümü için yerleştirme kararının verilmesi gerekmektedir (Eryavuz, 2001).

Şekil 4'de tek depodan iki araç ile dokuz farklı müşteriye dağıtım yapan ARP örneği gösterilmektedir. (Keskintürk, Topuk ve Özyeşil, 2015)

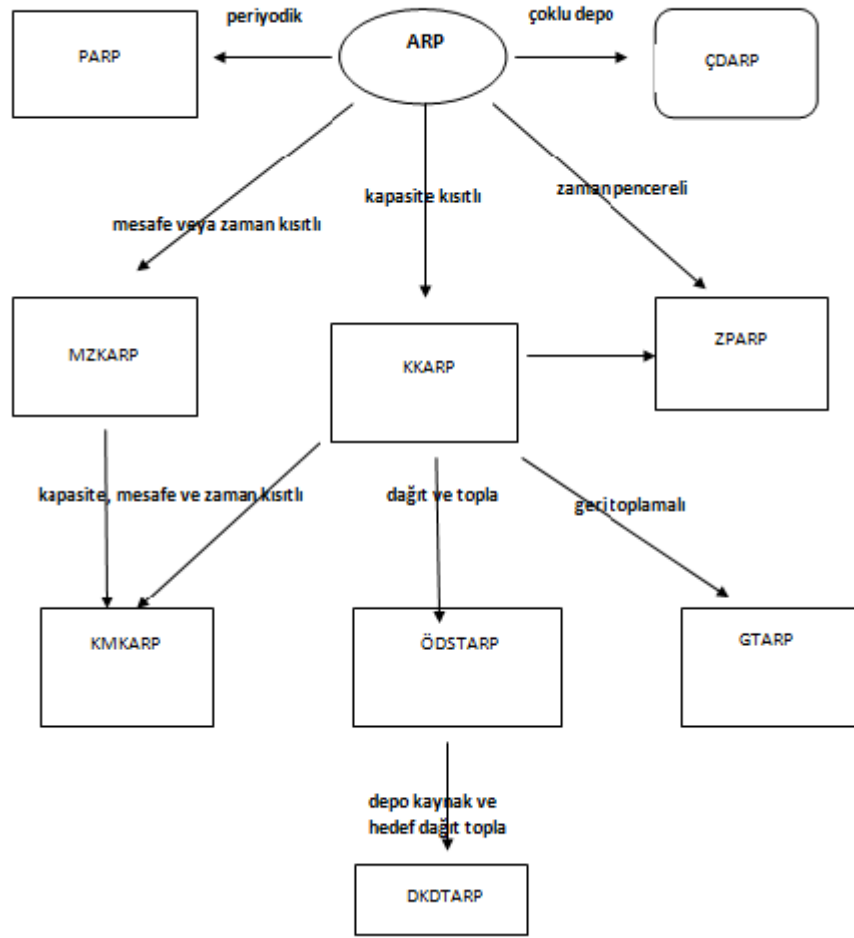


Şekil 4. ARP Örneği

ARP günümüzde birçok alanda etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bu alanlardan bazıları, yemek dağıtım, uçak, otobüs ve servis rotalarının oluşturulması, kargo taşımaları bu alanlardan bazılarıdır.

2.3. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ TÜRLERİ

Çıkış noktaları, depo sayıları, ürün dağıtım ve geri toplama yöntemleri ve yükleme yöntemleri gibi farklılardan dolayı çok çeşitliliğe sahip Araç Rotalama Problemleri oluşmuştur. Bunlardan bazıları; Kapasite Kısıtlı ARP (KKARP), Mesafe Kısıtlı ARP (MKARP), Çok Depolu Önce Dağıt Sonra Topla ARP (ÇDARP), Eş Zamanlı ve Karışık Topla-Dağıt ARP (KTDARP), Önce Dağıt Sonra Topla ARP (ÖDSTARP), Ayrık Yükleme ve Zaman Pencereci ARP (ZARP), Geri Toplamalı ARP (GTARP) ve Periyodik ARP (PARP)'dir. Şekil 5'de Araç Rotalama Problemi çeşitlerinin birbirini arasındaki ilişki gösterilmektedir. Bu tezde çalışma konusu olarak Kapasite Kısıtlı ARP kullanılmıştır. (Weise ve diğerleri, 2010, akt. Kumar ve Panneerselvam, 2012)



Şekil 5. Araç Rotalama Problemi Çeşitleri

2.3.1 Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi

ARP çalışmalarındaki modellere ek olarak kapasite kısıtlarının eklenmesi Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemini oluşturmuştur. (Cordeau vd., 2007).

Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Probleminde her bir aracın aynı kapasiteye sahip olduğu kabul edilir ve araç kapasiteleri bilinmektedir. Müşterilerin talepleri birbirlerinden farklılıklar gösterebilmektedir fakat her bir müşterinin talebi önceden bilinmektedir. Her bir müşteriye tek bir seferde taşıma yapılır. Müşteri talepleri ve araç kapasiteleri göz önüne alınarak en kısa mesafe çizelgelemesi yapılarak toplam mesafe en küçüklenir.

Aracın taşıma kapasitesinin, seyahat ettiği müşterilerin toplam taleplerini aşmaması gerekmektedir. (Santos, 2010)

Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Probleminde, her bir müşteri talebinin (d) toplamının taşıma yapılan araç kapasitesini (C) aşmaması gerekmektedir. N adet müşteri arasında gezen K adet araç ile taşıma yapılmaktadır. Literatürde yer alan ARP'den farklı olarak kapasite kısıtlarına sahip bu problemin amaç fonksiyonu ve kısıtlarını içeren matematiksel modeli şöyledir: (Oropeza ve diğerleri, 2012).

Kapasite kısıtlı araç rotalama probleminin matematiksel modeli aşağıda verilmiştir. (Toth, Vigo, 1997)

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:

$$MIN \sum_{k \in K} \sum_{i,j \in A} c_{i,j} X_{i,j,k} \quad (1.)$$

Modelin amaç fonksiyonu ile toplam alınan yolun en küçüklenmesidir.

Kısıtlar:

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in \Delta^+ i} X_{i,j,k} = 1 \quad \forall k \in K \quad (2)$$

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

$$\sum_{j \in (0)} X_{0jk} = 1 \quad \forall k \in K \quad (3)$$

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

$$\sum_{i \in \Delta^- j=0} X_{i,j,k} - \sum_{i \in \Delta^+ j} X_{i,j,k} = 0 \quad \forall k \in K, i \in N \quad (4.)$$

(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.

$$\sum_{i \in \Delta^-(n+1)}^{i \in \Delta^-(j)} X_{i,n+1,k} = 1 \quad \forall k \in K \quad (5.)$$

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

$$\sum_{i \in N}^{i \in \Delta^-(n+1)} d_i \sum_{j \in \Delta^+(i)} X_{i,j,k} \leq C \quad \forall k \in K \quad (6.)$$

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

$$X_{i,j,k} \geq 0 \quad \forall k \in K, (i,j) \in A \quad (7.)$$

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

$$X_{i,j,k} \in (0,1) \quad \forall k \in K, (i,j) \in A \quad (8.)$$

(8.) kısıt ile karar değişkeninin ikili tam sayı olması sağlanır.

2.4. LİTERATÜRDE YER ALAN İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İLE ARAÇ ROTALAMA ÇALIŞMALARI

Literatürde İHA'ların çeşitli kullanım alanlarına göre, araç rotalama problemlerinin ele alındığı birçok çalışma yer almaktadır. 2015 yılında Murray ve Chu tarafından ilk olarak kamyon daha sonra İHA ile son nokta taşınması yapan bir model fikri ortaya konulmuştur. Bu fikir "Uçan Yardımcı Gezgin Satıcı Problemi (Flying Sidekick Traveling Salesman Problem)" olarak adlandırılmıştır. Çalışma kapsamında teslimatlar da bir İHA ve bir kamyon kullanılmıştır. Araçlar aynı anda taşıma yapabilmektedir. İHA teslimat sonrasında kamyonu geri dönmek zorundadır. Karışık tam sayılı doğrusal programlama (MILP) ve sezgisel metotlar kullanılmıştır. Aynı yıl olan 2015 yılında, Olivares, Cordova Sepulveda ve Derpich tarafından, bir imalat fabrikasının iç lojistiğinde, özellikle montaj ve ürünlerin kişiselleştirilmesi aşamasında bir İHA tipi Quadcopterin kullanılması incelenir. Amaç büyük bir dezavantaj olan, işletim sırasında yüksek enerji tüketimini modellemek ve en iyilemektir. Çalışma sırasında depoların, kümelerin ve alt kümelenmelerin yerini belirlemek için bir iç lojistik modellemesi gerçekleştirilir. Her bir quadcopter için bir genetik algoritma kullanılarak yollar oluşturulur. Her bir quadcopter tarafından taşınacak ağırlık, malzeme ve rota belirlenir. Son olarak taşınan ağırlığa, ziyaret edilen iş istasyonlarına ve sayılarına göre quadcopter aerodinamik verimliliğine bağlı olarak belirli bir rota için her bir quadcopterin aküsünden boşaltılacak elektrik gücü miktarı optimize edilir.

2016 yılında, Tavana ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, çapraz sevkiyatta son nokta teslimatının kamyonlar ve İHA'lar ile birlikte yapılması amaçlanmaktadır. Karar vericilere maliyetlerin ve taşıma zamanının en küçüklendiği iki amacı olan bir model kurulmuştur. Bu çeşit bir model ile farklı türde ürünlerin farklı zamanlarda talep

edildikleri bir ortamda kamyonların ve İHA'ların kullanılabilmesi sağlanmıştır. Çalışma sırasında doğrudan İHA tabanlı taşıma süreci ile geleneksel kamyon temelli taşıma sürecinin maliyetleri arasındaki farklılıklar incelenmiştir. Bunun için, MILP model kurulmuştur. Bu modeli çözmek için etkin epsilon kısıtlama yöntemi uygulanmıştır ve duyarlılık analizi yapılmıştır. Yine aynı yıl, Wang ve arkadaşları tarafından, birden çok kamyon ve İHA'nın olduğu bir sistemde taşıma sürelerinin en iyilendiği "İHA'lar İle Araç Rotalama Problemi" olarak adlandırılan bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada birçok kötü senaryo incelenmiş, sadece kamyon yerine, hem kamyon hem de İHA'ların kullanıldığı en zamandan tasarruflu senaryo önerilmiştir.

2017 yılında Bekhti, Abdennebi, Achir ve Boussetta, tarafından, otonom İHA'lar için, bölgesel kablosuz ağların izleme kapasiteleri ile yol planlaması çalışması yapılmıştır. Amaç en kısa yol ile hedef noktaya ulaşımı en küçükmektir. Amacı gerçekleştirirken İHA'nın konum bilgisi kablosuz ağ kullanılarak izlenmek istenmektedir. Sonuç olarak, en iyi çözüm bulunamamış, izlenmek istenen konum bilgisinin doğruluk oranı azaltılarak uygun bir çözüm bulunmuştur.

2018 yılında, Pulver ve Wei tarafından, İHA'ların sağlık uygulamalarında kullanımı ele alınmıştır. Çalışmada kalp durması durumunda, hastaya tıbbi yardımın ulaşması için gereken süreyi önemli ölçüde azaltan bir tıbbi İHA prototipi tanıtılmıştır. Amaçlardan birisi birincil yardım malzemelerini ençoklamak iken ikincisi, yedek yardım malzemelerinin miktarını ençoklamaktır. İHA'lar sınırlı bir bataryaya sahip olduklarından geniş bir alana servis sağlanabilmesi için bir ulaşım ağı geliştirilmesi gerekmektedir. Sonuç olarak, amaçlar gerçekleşirken, belirlenen bölgedeki uçuş zamanları minimize edilmiş örnek çözüm harita üzerinde gösterilmiştir. Yine 2018 yılında Haa, ve arkadaşları tarafından, benzer bir çalışma olarak, son nokta müşteri teslimatında hem kamyon hem drone taşımacılığının birlikte kullanımı incelenmiştir. Çoklu kamyon ve İHA'lar kullanılmıştır. Amaç, kamyonların ve İHA'ların ulaşım zamanlarını ve bekleme sürelerini minimize ederken, ulaşım maliyetlerini de minimize etmektir. Çalışmada MILP bir model formulize edilir ve iki sezgisel metot kullanılır. Veri olarak farklı sayıda müşteri, taşıma yapılacak alan, uzaklık ve yoğunluk kullanılmıştır. İHA'lar kamyonlar üzerinde taşınır ve sonuç olarak, kamyon üzerinde başlayıp biten İHA rotaları çizilir. İHA'nın gittiği müşteriye kamyon gitmemektedir. Rabta, Wankmüller ve Reiner tarafından 2018 yılında Afet bölgelerinde drone ile insani

yardım malzemelerinin son nokta taşınması (last-mile distribution) yapılmasını incelenmiştir. Kurulan karışık tam sayı programlama modeli ile belirli drone yük taşıma kapasitesi ve enerji kısıtları altında taşıma yapılan yolunun minimize edilmesi amaçlanmıştır. Drone'un enerjisinin yetmediği durumda yakıt tedarik edebileceği enerji yükleme durakları olduğu kabul edilmiştir. Her bir belirlenen yardım noktasına ulaşılması için gerekli olan enerji miktarı, bu yardım noktasının önem dereceleri, gerekli yardım malzemesi farklılık gösterebilmektedir. Fakat dronelerin sabit belirli bir noktadan dolu yakıtla yola çıktıkları kabul edilmiştir. Veri olarak dört adet taşınan malzeme miktarı ve dolu drone yakıtı ile harcanan enerji miktarlarının farklılıklar gösterdiği örnek seçilmiştir. Çalışmanın sonucunda bu örnekler altında kurulan modelin minimize ettiği enerji ve mesafe verileri şematik olarak gösterilmiştir.

2.5. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Araç Rotalama Problemlerinin Çözümünde üç yöntem bilinmektedir.

- Kesin Çözüm Yöntemleri
- Sezgisel Yöntemler
- Meta Sezgisel Yöntemler

Bu çözüm yöntemlerinden kesin çözüm yöntemi en iyi çözümün bulunmasını amaçlamaktadır. Diğer iki sezgisel yöntem ise en iyi çözüm yerine ona yakın bir çözümü çok daha kısa zamanda bulmayı amaçlamaktadır.

2.5.1. Kesin Çözüm Yöntemlerinin İncelenmesi

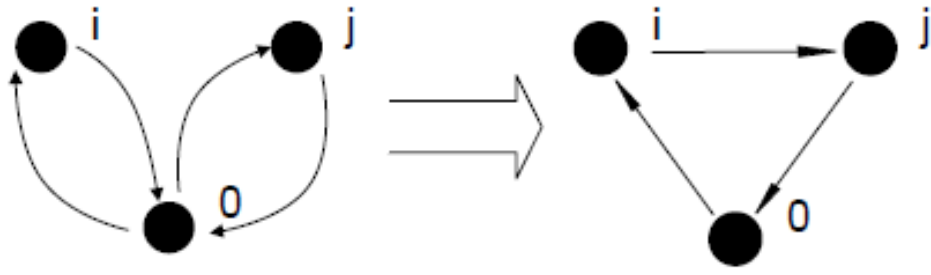
Bu tür yöntemlerin amacı en iyi çözümü vermektir. Fakat problemin büyümesi ile çözümün elde edilmesi için geçen süre üssel olarak artmaktadır. (Chandler ve Pachter, 1998). Çözüm süresinin artmasından dolayı, planlama süresinin önem taşıdığı çalışmalarda kesin çözüm yöntemlerinin kullanılması zorlaşmaktadır.

Simpleks metot ve kesme düzlemi yöntemi kullanılan yöntemlerdedir. Bu metot, doğrusal programlama kullanılarak elde edilen uygun çözüm aralığındaki bazı bölgelerin kesilmesi ile tam sayılı programlama elde edilmesidir. Yani, tam sayılı bir

çözüm aralığı bulunana kadar çözümün daraltılması bu metotun çalışma şeklidir (Pan, 2015). Sıkça kullanılan bir diğer kesin çözüm yöntemi ise dal ve kesme yöntemidir. Bu yöntemde, model kurulur. Ana problem çözüm dallarına ayrılır. İstenen kısıtlar eklenerek en iyi çözüm elde edilir. (Başkaya ve Öztürk, 2005).

2.5.2. Klasik Sezgisel Çözüm Yöntemlerinin İncelenmesi

ARP problemlerinde en iyi çözüm birçok çözüm senaryosundan biridir. Tek tek tüm çözüm senaryoları uygulanabilirse, en iyi çözümünde bulunacaktır ama büyük ölçekli çalışma alanlarında bu şekilde tüm çözüm senaryolarını uygulamak zaman ve maliyet sağlayacağı için mümkün olmamaktadır. Ayrıca, kesin çözüm veren uygulamaların kısıtlı kapasiteye sahip olması ve NP-zor problemlerden olmasından dolayı en iyi olmasa da iyi sonuçlar veren sezgisel çözüm yöntemlerinin doğmasına sebep olmuştur (Zheng ve diğerleri, 2007). Bu alanda ilk çalışmalar 1959 yılında Dantzig ve Ramser öncülüğünde istasyonlar arası benzin dağıtımı için doğrusal bir matematik modeli kurulmuştur. Bu matematiksel modelde, kullanılan aracın toplam kapasitesinin taşıma yapılan her iki istasyonun kapasitelerinin toplamının iki katını geçmemesi kısıtı uygulanmıştır. Ayrıca problemin çözüm aralığını daraltmak için birçok kısıt eklenmiştir. Daha sonra bu çalışmalardan yararlanarak Clarke ve Wright tarafından 1964 yılında tasarruf algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma ile problem çözümünde alt turların oluşması engellenmiş, her bir çözüm rotası turunda taşınan toplam miktarın aracın kapasitesini aşması durumunda yeni bir tur oluşturulacağı kabul edilir. Şekil 6'da Clarke ve Wright tarafından geliştirilen tasarruf algoritmasının üç nokta arasında uygulanmasının bir örnek görseli verilmiştir. (Lysgaard, 1997).



Şekil 6. Tasarruf Algoritması Görseli

Daha sonra birçok yöntem çalışılmıştır. Örneğin, en yakın komşu yöntemi GSP nin çözümü için çalışılan bir sezgisel yöntemdir. Bu yöntemde çıkış yapılan noktanın en yakınında olan noktaya gidilir. Daha sonra gelinen bu noktadan da en yakınındaki bir başka noktaya gitmek için çıkılır. Bu şekilde tüm seyahat noktaları gezilerek başlangıç noktasına geri dönlür. Yine, bir olası çözüm senaryosunu başlangıç olarak kabul edip bu çözümün devamında ilerleyerek uygun bir çözüm bulan tur geliştirici sezgiseller, klasik sezgisel çözüm yöntemlerine örnektir. (Nilsson, 2003).

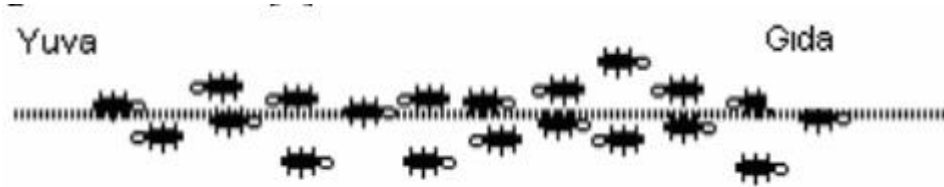
2.5.3. Modern Sezgisel Çözüm Yöntemlerinin İncelenmesi

Çalışma yapılan problemlerin büyümesi ile çözüm yolları zorlaşmış ve çözüm süreleri uzamıştır. Bu durum modern sezgisel çözüm yöntemlerinin oluşturulması ihtiyacını doğurmuştur. Genetik algoritma, yasaklı arama, tavlama benzetimi, karınca kolonisi, yapay sinir ağları ve parçacık sürü en iyilemesi literatürde yer alan modern sezgisel yöntemlerdendir. (Ercan ve Gencer, 2013)

2.5.3.1. Karınca Kolonisi Algoritması

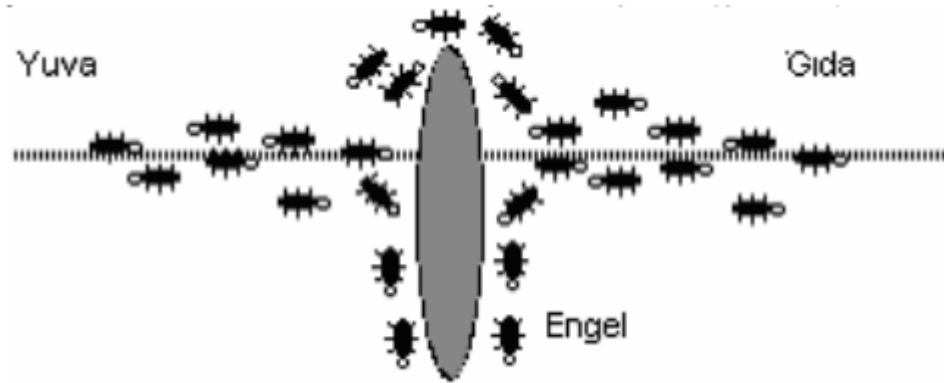
Karıncalar yuvalarından yiyecek kaynaklarına giden en kısa yolu görsel bir yardım kullanmayarak bulma yeteneğine sahiptir. Marco Dorigo tarafından oluşturulan Karınca Kolonisi Algoritması da karınca kolonilerinin yuvaları ile yemek kaynakları arasındaki en kısa yolu bulmaları hareketinden türetilerek oluşturulmuş bir sezgisel algoritmadır. (Dorigo ve Di Caro,1999) Yani karıncalar buldukları en kısa yolda herhangi bir yolu

kullanılmaz duruma getiren engel gördüğü durumda yollarını değiştirerek tekrar en kısa yolu bulmaktadır. Ekşi ve Çelik'in 2014'de yaptıkları çalışmada yer alan, aşağıdaki Şekil 7'de, engelsiz düz bir yolda yuvalarından yiyeceğe ilerleyen karıncalar gösterilmektedir.



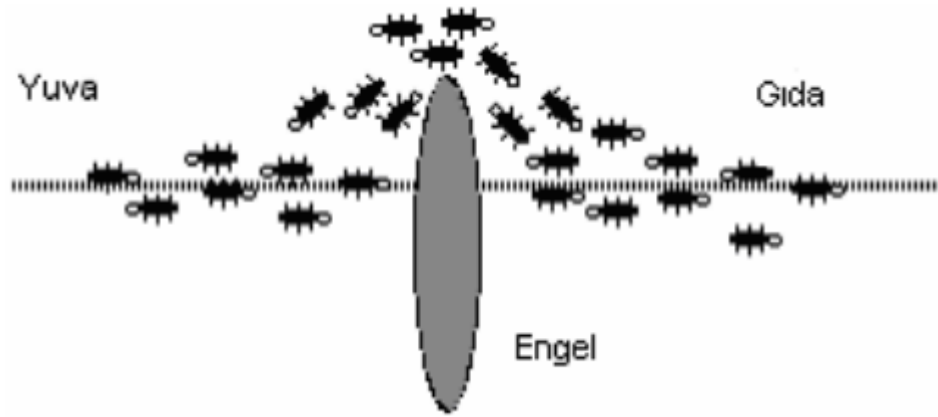
Şekil 7. Düz Yolda İlerleyen Karıncalar

Karıncaların yiyeceğe giden en kısa yolu bulmak için feromon maddesini kullanmaktadır. Bu madde bazı canlıların kendi cinslerini etkilemek için salgıladığı bir maddedir. Karıncalarda yiyeceğe giden yollarında bu maddeyi salgılamaktadır. Hareket eden karıncalar yol tercihi yaparken, feromon oranının yüksek olduğu yolu seçmektedir. Karıncalar yollarında ilerlerken karşılarına çıkan engellerde yeni yol tercihi yapmak zorundadırlar. Şekil 8'de, karşılarına engel çıkan karıncalar gösterilmektedir.



Şekil 8. Karşılarına Engel Çıkan Karıncalar

Yaptıkları seçim sonucunda seçtikleri yol yiyeceğe en yakın yol olmaması durumunda da karıncalar çok hızlı bir şekilde uyum sağlayarak tekrar en kısa yolu bulabilmektedirler. Şekil 9'da karıncaların tekrar yol belirlemesi gösterilmiştir.



Şekil 9. Karıncaların Tekrar Yol Belirlemesi

Karıncaların bu içgüdüsel hareketlerinden yararlanılarak oluşturulan bu algoritma ilk olarak Marco Dorigo tarafından Gezgin Satıcı Problemi bir örnek ile denenmiştir ve algoritmanın olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu algorithmada yer alan köşelerin her biri bir şehri, kenarların her biri ise iki şehir arasındaki mesafeyi ifade etmektedir. Bu her kenar ile ilgili olan, her bir karınca tarafından okunabilen ve miktarı karıncalar ile artırılıp azaltılabilen madde ise feromen olarak ifade edilmiştir. Bu algoritma sürekli tekrar eden bir algoritmadır. Her bir tekrarında yeni yapay karıncalar sisteme girmektedir. Algoritma çözüm yolu ararken, her bir karınca seçeceği bir sonraki kenarı feromen miktarına göre olasılıksal bir hareketle seçmektedir.

Karınca Kolonisi Algoritmasının notasyonu şöyledir: (Dorigo ve Di Caro,1999)

$$a_{i,j}(t) = \frac{[\tau_{i,j}(t)]^\alpha [\eta_{i,j}]^\beta}{\sum_{l \in N_i} [\tau_{i,l}(t)]^\alpha [\eta_{i,l}]^\beta} \quad (1.)$$

(1.) Formülde yer alan $\tau_{i,j}(t)$, i'inci ve j'inci şehirlerin arasındaki (t)'inci turdaki feromen miktarını ifade eder. Yine (1.) formülde yer alan $\eta_{i,j}$,gezilecek her iki şehrin arasındaki mesafeyi ifade etmektedir. Bu formülün geneli, karınca-karar tablosunun içerisindeki değerlerin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

$$p_{i,j}^k(t) = \frac{a_{i,j}(t)}{\sum_{l \in N_i^k} a_{i,l}(t)} \quad (2.)$$

(2.) Formülde ise, (1.) formülde belirlenen karınca-karar tablosunun değerleri, i'inci ve j'inci şehirlerin aralarındaki yolun karıncalar tarafından seçilme olasılığının belirlenmesinde kullanılmaktadır.

$$\tau_{i,j}(t) \leftarrow (1 - \rho)\tau_{i,j}(t) + \Delta\tau_{i,j}(t) \quad (3.)$$

(3.) formülde ise, , i'inci ve j'inci şehirlerin aralarındaki yolda yer alan feromon miktarının belirlenmesinde kullanılmaktadır.

İfade edilen bu formüllerin GSP'lerde kullanılmasında kullanılan karınca sayılarının arttırılması elde edilen sezgisel çözümün iyileştirilmesini sağlamaktadır. Fakat kullanılan problemin büyüklüğüne göre bu şekilde karınca sayısının arttırılması, problemin çözümünde geçen zamanın ciddi oranda uzamasına sebep olmaktadır. (Dorigo, 1991)

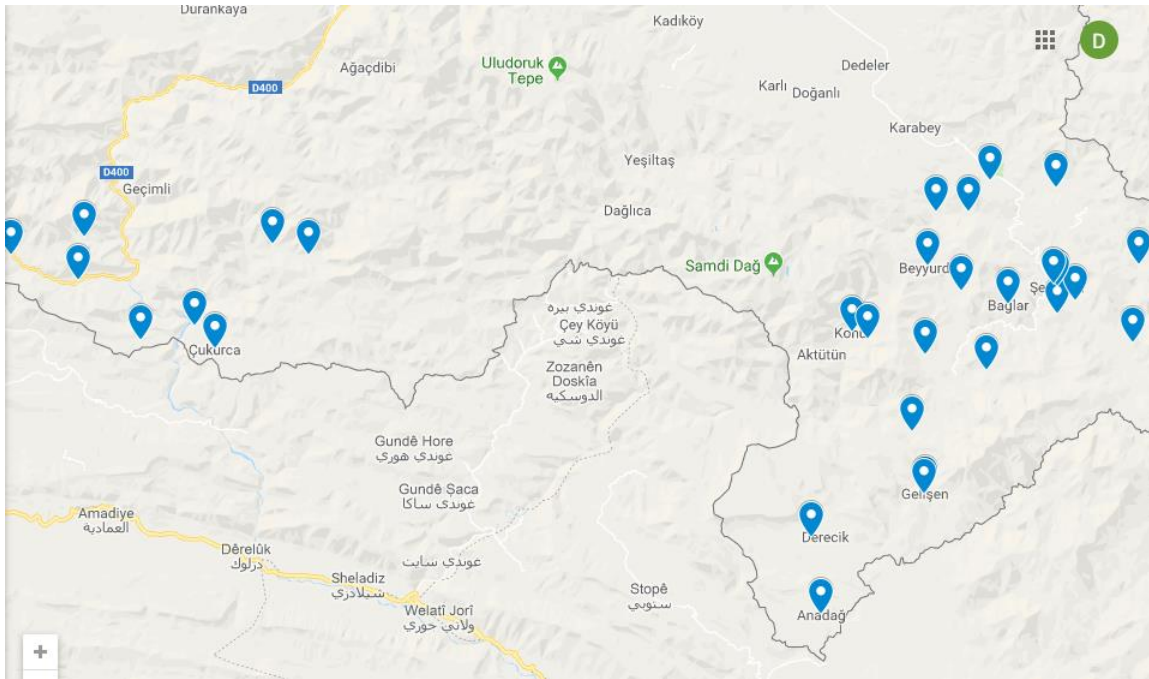
3. BÖLÜM

ÇALIŞMANIN AMACI VE PROBLEMİN TANIMLANMASI

3.1. PROBLEM TANIMI

Bu tezde uygulama yapılmak üzere iki konu seçilmiştir. Seçilen konulardan birincisi, coğrafi özelliklerinden dolayı ulaşılması zor dağ köylerine tıbbi malzemelerin insansız hava araçları ile taşınmasıdır. İkincisi ise, orman yangınlarının engellenmesi için, ormanlık bölgelerin insansız hava araçları ile gözetlenmeleridir.

Tıbbi malzemelerin zarar görmeden ve olabildiğince hızlı bir şekilde taşınması insan sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır. Şehir içlerinde trafik nedeniyle, kırsal bölgelerde ise coğrafi şartlar nedeniyle tıbbi malzeme sevkiyatlarında sorunlar ve gecikmeler yaşanmaktadır. Tezde yapılan ilk uygulamada bu problem ele alınmıştır. Türkiye'nin en dağlık şehri olan Hakkâri'nin Şemdinli ve Çukurca ilçelerinden aşağıdaki Şekil 10'da harita üzerinde gösterilen köyler, hastaneler ve sağlık ocakları belirlenmiştir.



Şekil 10. Şemdinli ve Çukurca İlçesi Seçilen Köyler

Belirlenen bir hastaneden yola çıkılarak bu köylerden toplanan, kan numunelerinin İHA'lar ile hastaneye sevk edilmesi ele alınmıştır. Bu problemin çözümünde belirlenen köylerden yapılacak kan numunesi örneklerinin hastanelere taşıma süresini en küçükleme amaçlanmıştır. Köylerin ihtiyaç duyduğu kan numunesi örneklerinin sayısı taleplerini oluşturmuştur.

Orman Genel Müdürlüğünün 2015 verilerine göre Türkiye yüz ölçümünün %26,5 kadarı ormanlardan oluşmaktadır. Her yıl ülkemizde birçok orman yangını meydana gelmektedir. Çıkan yangının ilk dakikası altın dakika olarak tanımlanır. Kişilerin bu altın dakika içerisinde yangını fark edip müdahale etmesi durumunda, yangını söndürmesi çoğunlukla mümkündür. Türkiye'de oldukça yüksek sayıda orman köyü vardır. Bu orman köylerinden en yakın itfaiye birliğine yarım saat uzaklıkta olan bir orman köyümüzde çıkacak bir yangına vatandaşça yapılacak ilk müdahalenin başarısız olma durumunda, itfaiye birliğinin müdahalesi için geçen sürede yangının oluşturduğu kayıplar çok yüksek olacaktır (İnce, 2009). Tezde yapılan ikinci uygulamada müdahale edilme hızının yüksek olması gereken orman yangınlarının engellenmesi için ormanlık bir bölgenin insansız hava araçları ile gözetlenmesi ele alınmıştır. Ormanlık bölge olarak önemli bir yüz ölçümüne sahip olan Marmaris Milli Parkı seçilmiştir. Bu problemin çözümünde birer kilometre aralıklarla belirlenen noktaların her birinin düzenli bir şekilde yangın ihtimaline karşı kontrol edilmesi amaçlanmıştır. Bu sayede tüm milli parkın yangından koruma altına alınabileceği düşünülmektedir. Şekil 11'de Marmaris Milli Parkı üzerinde belirlenen gözlem noktaları gösterilmiştir.



Şekil 11. Marmaris Milli Parkı Haritası

3.2. MATEMATİKSEL MODEL

Çalışma kapsamında iki matematiksel model kurulmuştur. Bunlardan ilki kapasite kısıtlı araç rotalama problemi özelliği taşıyan matematiksel model iken ikincisi gezgin satıcı problemi matematiksel modelidir.

3.2.1 Oluşturulan Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi

Birinci uygulama olan kan numunelerinin insansız hava araçları ile sevk edilmesi uygulamasında kullanılan kapasite kısıtlı araç rotalama problemi matematiksel modelindeki notasyon aşağıdaki gibidir;

Kümeler

N : Köyler

İndisler

i ve j : düğüm indisleri (N)

Parametreler

$dist_{i,j}$ = i . köy ile j . köy arasındaki mesafe

$talep_i$ = i . köyün talebi

$maxtalep_i$ = i . köyün maksimum talebi

C = insansız hava aracının yük taşıma kapasitesi

$depo$ = rota başlangıç noktası

$numRoute$ = Toplam rota sayısı

N = Gezilecek nokta sayısı

Değişkenler

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

u_i = i . köyden çıkıldığında araçta taşınan yük miktarı

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min} \sum_j^N \sum_i^N dist_{i,j} x_{i,j} \quad (1.)$$

Modelin amaç fonksiyonu ile (1.) insansız hava aracının köyler arasında aldığı yolun en küçüklenmesi amaçlanır.

Kısıtlar

$$\sum_i^N x_{i,j} = 1 \quad i \neq j, j \neq depo \quad \forall i \in N, \forall j \in N \quad (2.)$$

$$\sum_j^N x_{i,j} = 1 \quad i \neq j, j \neq depo \quad \forall i \in N, \forall j \in N \quad (3.)$$

(2.) ve (3.) kısıtları ile aracın her bir köye bir kere seyahat etmesi, girilen her bir köyden çıkılması, rotasına devam etmesi sağlanmıştır.

$$u_i - u_j + Cx_{i,j} + (C - talep_i - talep_j)x_{i,j} \leq C - talep_j \quad (4.)$$

$$i \neq j, j \neq depo, talep_i + talep_j \leq C \quad \forall i \in N, \forall j \in N$$

(4.) kısıt ile bir köyden çıkıp diğer bir köye giden araç için, bu iki köyün taleplerinin toplamının, araç kapasitesini aşmadan karşılanması sağlanmıştır.

$$talep_i + \sum_j^N talep_j x_{i,j} \leq u_i \quad \forall i \neq \forall j, \forall j \neq depo \quad (5.)$$

$$u_i + (C - maxtalep_i - talep_i)x_{depo,i} + \sum_j^N talep_j x_{i,j} \leq C$$

$$\forall i \neq \forall j, \forall j \neq depo \quad (6.)$$

(5.) ve (6.) kısıtlar ile alt turların oluşması engellenmiştir. Bunun için u_i değişkeni eklenmiştir. Eklenen bu değişken i . köyden çıktığında araçta taşınan kan numunesi miktarını ifade etmektedir. Gezilen her bir köyden toplanan kan numuneleri kümülatif olarak u_i değişkeninde toplanmaktadır. Rotanın en sonunda yer alan noktada u_i değişkeni hesaplanan değer tüm rotanın taşıdığı kan numunesi miktarını ifade etmektedir.

$$\sum_j^N x_{depo,j} \leq numRoute \quad j \neq depo \quad \forall j \in N \quad (7.)$$

$$\sum_i^N x_{i,depo} \leq numRoute \quad i \neq depo \quad \forall i \in N \quad (8.)$$

(7.) ve (8.) kısıtlar ile depolardan dağılan araç sayılarının toplamlarının ve depolara gelen araç sayılarının toplamlarının belirlenen toplam rota sayısını aşmaması sağlanır.

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

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

$$x_{i,j} \in (0,1) \quad \forall (i,j) \in N(10.)$$

(10.) kısıt ile karar değişkeninin ikili tam sayı olması sağlanır.

3.2.2 Oluşturulan Gezgin Satıcı Problemi Modeli

Birinci uygulama olan kan numunelerinin insansız hava araçları ile sevk edilmesi uygulamasında kullanılan bir diğer matematiksel model olan Gezgin Satıcı Probleminde ilk oluşturulan model ile aynı olan $talep_i$, $maxtalep_i$ ve C parametreleri dışında aynı kümeler, indisler, parametreler ve değişkenler kullanılmıştır. Modelin Amaç fonksiyonu ve kısıtları aşağıdaki gibidir;

Amaç Fonksiyonu

$$Min \sum_j^N \sum_i^N dist_{i,j} x_{i,j} \quad (1.)$$

Modelin amaç fonksiyonu ile (1.) insansız hava aracının köyler arasında aldığı yolun en küçüklenmesi amaçlanır.

Kısıtlar

$$\sum_i^N x_{i,j} = 1 \quad i \neq j, i \neq depo \quad \forall i \in N, \forall j \in N \quad (2.)$$

$$\sum_j^N x_{i,j} = 1 \quad i \neq j, j \neq depo \quad \forall i \in N, \forall j \in N \quad (3.)$$

(2.) ve (3.) kısıtları ile aracın her bir köye bir kere seyahat etmesi, girilen her bir köyden çıkılması, rotasına devam etmesi sağlanmıştır.

$$u_i - u_j + Nx_{i,j} \leq N - 1 \quad i \neq j, i, j \geq 2 \quad \forall i \in N, \forall j \in N \quad (4.)$$

$$u_i \leq N - 1 - (N - 2)x_{1,i} \quad i, j \geq 2 \quad \forall i \in N \quad (5.)$$

$$u_i \geq N - 1 - (N - 2)x_{1,i} \quad i, j \geq 2 \quad \forall i \in N \quad (6.)$$

(4.) , (5.) ve (6.) kısıt ile alt turlarının oluşması engellenmiştir. Tüm noktaların seyahat edilmesi ve başlangıç noktasına geri dönülmesi sağlanmıştır.

$$x_{i,j} \geq 0 \quad \forall i \in N, \forall j \in N \quad (7.)$$

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

$$x_{i,j} \in (0,1) \quad \forall i \in N, \forall j \in N \quad (8.)$$

(10.) kısıt ile karar değişkeninin ikili tam sayı olması sağlanır.

3.3. KULLANILAN YAZILIM

En iyi sonucun bulunmasında kullanılan modellerin çözümünde veriler Excel'in SolverStudio Andrew Mason eklentisi kullanılmıştır. Matematiksel modeller ise Gurobi Python ile kodlanmıştır. Uygun çözümün bulunmasında her iki uygulamada da VRP Solver yazılımı kullanılmıştır.

İlk uygulama olan kan numunelerinin İHA'lar ile taşınması uygulamasında altıncı test senaryosu olan Karınca Kolonisi Algoritmasının kullanıldığı senaryonun çözümünde sezgisel model MATLAB ile kodlanarak çözülmüştür.

3.4. SAYISAL ÖRNEKLERİN TEST EDİLMESİ

3.4.1 Kan Numunelerinin İnsansız Hava Araçları İle Sevk Edilmesi

Uygulaması

Birinci uygulama olan kan numunelerinin insansız hava araçları ile sevk edilmesi uygulamasında Tablo 1’de model numaraları, tanımları, çözüm yöntemleri ve merkez özelliği verilen altı test senaryosu belirlenmiştir.

Tablo 1 Birinci Uygulama Test Senaryoları

MODEL NO	PROBLEM TANIMI	YÖNTEM	MERKEZ
M1.1	Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi	Eniyileme	(Tek Merkez)
M1.2	Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi	Eniyileme	(İki Merkez)
M1.3	Gezgin Satıcı Problemi	Eniyileme	(Tek Merkez)
M1.4	Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi	Sezgisel	(Tek Merkez)
M1.5	Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi - Karayolu ile	Eniyileme	(Tek Merkez)
M1.6	Gezgin Satıcı Problemi	Karınca Kolonisi Algoritması- Sezgisel	(Tek Merkez)

- İlk senaryo olan Model M1.1’de, Şemdinli Devlet Hastanesi ilk çıkış noktası olarak belirlenmiştir. Belirlenen Şemdinli ve Çukurca köylerinin taleplerinin karşılanması için tüm köyler bu ortak ilk çıkış noktasından çıkan araçlar ile

dolaşılır. Kurulan kapasite kısıtlı araç rotalama modeli kullanılarak en iyi çözümü bulmak amaçlanır.

- İkinci senaryo olan Model M1.2’de, Şemdinli ve Çukurca ilçelerinin köyleri birbirlerinden ayrılır. Şemdinli köyleri için ilk çıkış noktası Şemdinli Devlet Hastanesi iken, Çukurca köyleri için Çukurca Devlet Hastanesi ilk çıkış noktasıdır. Her iki bölge için ayrı ayrı kurulan kapasite kısıtlı araç rotalama modeli kullanılarak en iyi çözümü bulmak amaçlanır.
- Üçüncü senaryo olan Model M1.3’de, tüm köyleri kapsayan bir gezgin satıcı problemi modeli kullanılır. Tüm köylerin gezilmesinde tek bir noktadan çıkan tek bir araç kullanılır. Köylerin kapasiteleri dikkate alınmamakta, önemli olan her bir köyün insansız hava aracı ile ziyaret edilmesidir. En iyi bir çözüm bulmak amaçlanır.
- Dördüncü test senaryosu olan Model M1.4’de en uygun bir çözüm yerine uygun bir çözüm sunan VRP Solver yazılımı kullanılır. Tek bir noktadan çıkılarak, tüm köylerin taleplerinin karşılanması amaçlanmıştır. Kullanılan yazılım ile girilen köy koordinatlarına göre köylerin birbiri arasındaki Euclidian cinsinden uzaklıkları hesaplanır ve uygun bir uçuş rotası belirlenir.
- Beşinci test senaryosu olan Model M1.5’de kan numunelerinin İHA yerine tek bir binek araç ile taşındığı durum ele alınmıştır. Şemdinli Devlet Hastanesi ilk çıkış noktası olarak belirlenmiştir. Kurulan kapasite kısıtlı araç rotalama modeli kullanılarak en iyi çözümü bulmak amaçlanır.
- Altıncı test senaryosu olan Model M1.6’da kan numunelerinin taşınmasında Şemdinli Devlet Hastanesi ilk çıkış noktası olarak belirlenmiştir. Bu noktadan çıkılarak tüm noktaların talepleri İHA’lar ile karşılanmaktadır. Bu test senaryosunda uygun bir çözüm sunan sezgisel çözüm yolu olan Karınca Kolonisi Algoritması ele alınmıştır.

Bu altı test senaryosunun çözümleri, Tablo 2’de yer alan test senaryosu model numaralarına göre ve belirtilen karşılaştırma yapılma amaçları çerçevesinde birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Tablo 2. Birinci Uygulama Karşılaştırma Yapılma Amacı

MODEL NO	KARŞILAŞTIRMA YAPILMA AMACI
M1.1 - M1.2	Tek çıkış noktası yerine birden çok çıkış noktası olmasının toplam alınan mesafenin en küçüklenmesi olan amaca, toplam gerekli olan araç sayısına, çözüm süresi gibi sonuçlara etkisini incelemektir.
M1.1 – M1.3	Kapasite kısıtı olmadan, tek bir araç ve tek bir çıkış noktası ile kan numunesi taşımanın amaç olan toplam alınan yol mesafesine etkisini incelemektir.
M1.1 – M1.4	En iyi çözüm ve bulunan uygun bir çözüm arasındaki amaç, araç sayısı, çözüm süresi, seyahat süresi gibi farklılıkları incelemektir.
M1.1 – M1.5	Araç olarak İHA yerine binek araç kullanılmasının toplam alınan mesafenin en küçüklenmesi olan amaca, seyahat süresine ve gerekli olan araç sayısından doğan maliyetlere etkisini incelemektir.
M1.3 – M 1.6	Kapasite kısıtı olmayan en iyi sonucu bulan çözüm ile sezgisel bir sonuç bulan çözümün farklılıklarını incelemektir.

Model M1.1 ve Model M1.2 Karşılaştırılması

İlk iki test senaryosu karşılaştırılarak, tek bir noktadan çıkış yapılması ve iki farklı noktadan çıkış yapılmasının kurulan model ve veriler üzerindeki etkisi incelenmek istenmiştir. Yani, tek çıkış noktası yerine çoklu çıkış noktası olmasının amaç olan yol mesafesi en küçükmeye etkisi incelenmek istenmiştir. Bu sayede kan numunelerinin hastanelere taşınmasında ortak bir hastaneden taşıma yapma ile her bir ilçenin merkezinde yer alan hastaneden taşıma yapmanın toplam alınan yol mesafesinde ve seyahat süresinde hangi oranda değişikliğe sebep olacağı incelenmek istenmiştir.

Model M1.1 ve Model M1.3 Karşılaştırılması

Birinci ve üçüncü test senaryoları ile kapasite kısıtı olmadan, tek bir araç ve tek bir çıkış noktası ile kan numunesi taşımanın amaç olan yol mesafesi en küçüklemesine etkisi, problem çözümü için gerekli olan çözüm süresindeki değişiklikler incelenmek istenmiştir.

Model M1.1 ve Model M1.4 Karşılaştırılması

Birinci ve dördüncü test senaryoları ile en iyi ve uygun çözüm arasındaki farklılıklar, amaç fonksiyonundaki ve oluşturulan uçuş rotalarındaki, seyahat sürelerindeki farklılıklar incelenmek istenmiştir. Bu farklılıklar değerlendirilerek, en iyi çözümün hesaplanmasında katlanılmak zorunda olunan çözüm işlem zamanının göze alınıp alınmayacağına karar verilebilmektedir.

Model M1.1 ve Model M1.5 Karşılaştırılması

Birinci ve beşinci test senaryoları ile amaç fonksiyonu olan toplam yol mesafesinin en küçüklenmesinin ve oluşturulan taşıma rotalarının binek araç yerine İHA'ların kullanılmasında nasıl değiştiği incelenmek istenmiştir. Ayrıca, beşinci test senaryosu ile İHA kullanımının yol mesafesini en küçükleme oranı, alınan yolun en küçüklenme oranı, ihtiyaç duyulan toplam seyahat süresi ve maliyetler ile İHA kullanımının faydasının net bir şekilde gösterilmesinin sağlanması amaçlanmıştır.

Model M1.3 ve Model M1.6 Karşılaştırılması

Üçüncü test senaryosu olan tüm belirlenen noktaların kapasite kısıtı olmadan gezgin satıcı problemi olarak ele alındığı ve en iyi çözümü bulmayı amaçlayan senaryosu ile altıncı test senaryosu olan tüm bölgelerin yine gezgin satıcı problemi ile ele alındığı fakat karınca kolonisi algoritması sezgiseli ile çözüldüğü test senaryosunun karşılaştırılması amaçlanmıştır. Böylece en iyi çözüm maliyeti yerine uygun bir çözüm kabul edildiğinde amaç fonksiyonu olan alınan yol mesafesinin en küçüklenmesinin değişikliği ve oluşturulan araç rotaları arasındaki farklar ile toplam uçuş süreleri arasındaki farklar incelenmek istenmiştir. Bu karşılaştırmanın kesin çözüm veren çözüm yolları ile sezgisel çözüm veren çözüm yollarının performanslarını göstermesi amaçlanmıştır.

3.4.1.1 Verinin Oluşturulması

Kan numunelerinin insansız hava araçları ile sevk edilmesi uygulamasında uygulama için Hakkâri'nin Şemdinli ve Çukurca bölgesinden belirlenen 26 köy, 2 hastane, 2 sağlık ocağı ve 1 toplum sağlığı merkezi seçilmiştir ve koordinatları Ek 3'da gösterilmektedir.

Elde edilen koordinatlar ile köylerin ve belirlenen diğer noktaların birbiri arasındaki mesafe aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

Birinci Koordinat Noktası (x_1, y_1)

İkinci Koordinat Noktası (x_2, y_2)

İki nokta arası uzaklık

$$= \sqrt{((x_2 - x_1)^2 - (y_2 - y_1)^2)} * \text{iki paralel arasındaki uzaklık}$$

Tüm köyler, hastaneler ve sağlık ocaklarının yukarıdaki formül ile hesaplanan birbiri arasındaki mesafeleri ile bir uzaklık tablosu oluşturulmuştur. Bu tablo kurulan modelde $dist_{i,j}$ değişkenine girdi olarak kullanılmıştır. Oluşturulan bu tablo Ek 4'de verilmiştir.

Köylerin kan numunesi talepleri örneğinin oluşturulmasında Tablo 4'de verilen toplam köy nüfusları dikkate alınmıştır. Köy nüfusları ile orantılı bir şekilde oluşturulan örnek köy kan numune talep miktarları da Tablo 4'de verilmiştir. Bu örnek talep miktarları kurulan modelde $talep_i$ değişkenine girdi olarak kullanılmıştır.

Oluşturulan kapasite kısıtlı matematiksel modelde kullanılan max_{talep_i} talebine girdi olarak kullanılan en çok talep miktarı yine Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 3. Köy Nüfusları

KÖY ADI	TOPLAM NÜFUS	ÖRNEK TALEP MİKTARI	EN ÇOK TALEP MİKTARI
Alan Köyü	519	4	20
Altınsu Köyü	4.463	20	18
Anadağ Köyü	4.290	18	20
Bağlar Köyü	900	4	20
Beyyurdu Köyü	473	2	20
Boğazköy Köyü	1.142	6	20
Bozyamaç Köyü	308	2	20
Çatalca Köyü	1.009	4	20
Çubuklu Köyü	274	2	20
Gelişen Köyü	3.988	18	20
Günyazı Köyü	3.089	14	20
Kayalar Köyü	2.115	10	20
Konur Köyü	2.034	10	20
Korgan Köyü	4.491	20	18
Ortaklar Köyü	2.401	10	20
Öveç Köyü	552	2	20
Tekeli Köyü	2.780	12	20
Tütünlü Köyü	2.008	8	20
Uğuraçan Köyü	843	4	20
Yaylapınar Köyü	893	5	20
Akkaya Köyü	885	4	20
Cevizli Köyü	39	2	20
Çığlı Köyü	2.642	12	20
Kayalık Köyü	88	2	20
Narlı Köyü	227	2	20
Üzümlü Köyü	1.860	6	20

Kapasite kısıtlı matematiksel modelde girdi olarak kullanılan Numroute ve maxroute parametreleri aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\text{Numroute} = \text{Toplam köy kapasiteleri} / \text{Bir aracın taşıma kapasitesi}$$

$$\text{Maxroute} = \text{Eğersay}(\text{Talepler}; \text{Mak}(\text{Talepler}))$$

Araç kapasite kısıtlı matematiksel modelde araç kapasitesi olan C için piyasadaki kullanılan İHA'lar incelenmiştir. Yüksek uçuş irtifası yeteneği ve havada kalma süresi sebebiyle UASUSA marka kanatlı bir drone tercih edilmiştir. Özellikleri şöyledir: (İnternet,2019)

- Araç ağırlığı: 4.5 kg.
- Yük kapasitesi, 4.5 kg.
- Kanat açıklığı 322,58 cm.
- Dayanıklılık, 2 - 4 saat.
- Seyir hızı, 80 km. Maksimum hız, 177 km.
- Maksimum rüzgâr kapasitesi, 60 mil.
- Otomatik pilot, motor, hız kontrol cihazı, akü, mancınık fırlatma sistemi tamamen şarj edilebilir güç sistemine ve verimli elektrikli platforma sahiptir.
- 15.000 fit yükseklikte çalışabilmektedir.
- Yaklaşık Fiyatı \$27000

Bir kan numunesinin ortalama ağırlığı ise, 25 ml'dir. Bu sebeple İHA'ların araç kapasitesi olarak 100 adet kan numunesi belirlenmiştir.

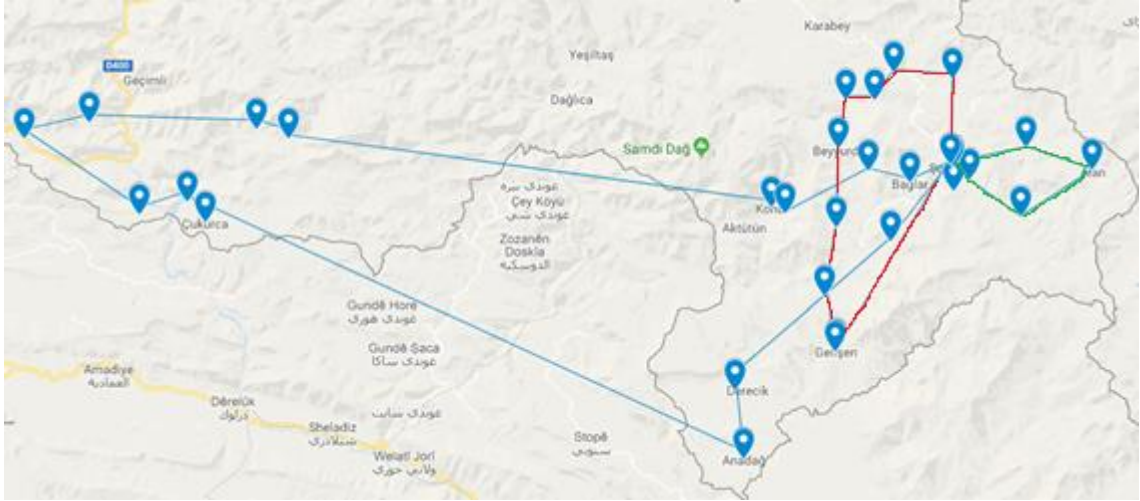
3.4.1.2 Sayısal Sonuçlar

Belirlenen test senaryolarının çözümünde hesaplanan toplam alınan yol mesafesi, hesaplanan araç sayısı ve tam rota için gerekli olan seyahat süresi Tablo 5'de gösterilmektedir.

Tablo 4. Birinci Uygulama Test Senaryoları Çözümleri

MODEL NO	TOPLAM	ARAÇ SAYISI	SEYAHAT	ÇÖZÜM SÜRESİ
	MESAFE (Km)		SÜRESİ (Dakika)	
M1.1	326	3	2 Saat 50 Dakika	1-2 Gün
M1.2	315,18	3	2 Saat 4 Dakika	4 Dakika
M1.3	283	1	3 Saat 31 Dakika	1 Dakika
M1.4	379	3	3 Saat 18 Dakika	20 Saniye
M1.5	627,8	1	7 Saat 50 Dakika	1 Dakika
M1.6	345,12	1	4 Saat 18 Dakika	3 Dakika

İlk senaryoda, çıkış noktası olarak Şemdinli Devlet Hastanesi belirlenmiştir. Belirlenen tüm Şemdinli ve Çukurca köyleri ile hastane, sağlık ocağı ve toplum sağlığı merkezleri bu çıkış noktasından çıkan bir İHA ile gezilmektedir. Tüm köyler, hastaneler ve sağlık ocaklarının Ek 4' de verilen tablodaki birbiri arasındaki mesafeleri modelde $dist_{i,j}$ değişkenine girdi olarak verilir. Her bir belirlenen noktanın kendi talepleri vardır. Bu talepler göz önüne alınarak, kurulan kapasite kısıtlı araç rotalama problemi çalıştırılır. Model çözümünde, en iyi çözüm olarak 326 km elde edilmiştir. Buna göre, üç farklı araç rotası oluşturulmuştur. Birinci rotanın toplam uzunluğu 64.49 km, ikinci rotanın toplam uzunluğu 34,16 km ve üçüncü rotanın toplam uzunluğu 227,35 km'dir. Oluşturulan araç rotaları aşağıdaki Şekil 12' de gösterilmektedir. Ayrıca, Ek 5'de araç rotası tablosu verilmiştir.



Şekil 12. M1.1 Araç Rotası

Aracın her bir noktadan geçtikten sonra üzerinde olan kan numunesi sayısını gösteren değişken olan u_i değişkeni Ek 11 'da verilmiştir.

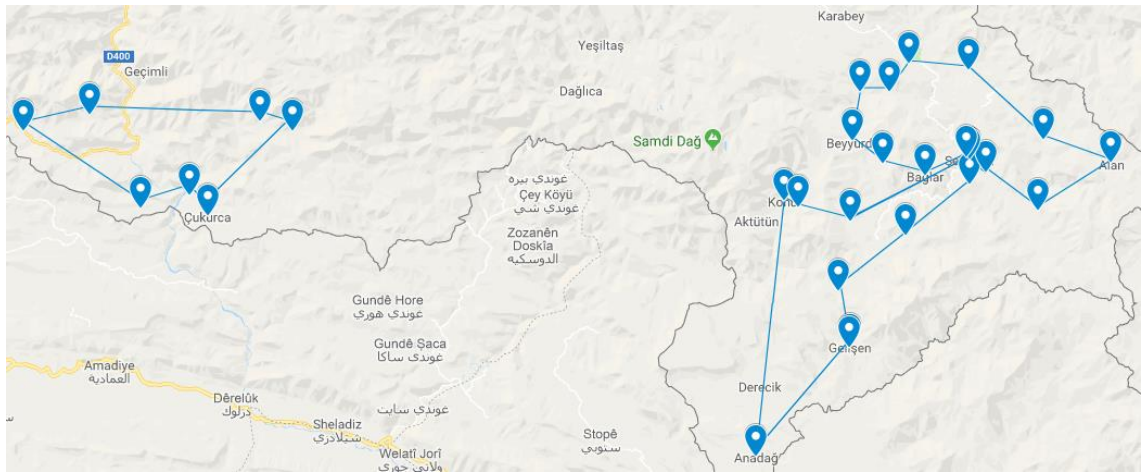
Birinci rotanın sonunda araçta taşınan kan numunesi sayısı 79, ikinci rotanın sonunda taşınan kan numunesi sayısı 70 ve üçüncü rota sonunda araçta taşınan kan numunesi sayısı 96'dır. Tüm noktaların talepleri karşılanmıştır.

İlk test senaryosunun çözümü için ihtiyaç duyulan problem çözüm zamanı yaklaşık 2 gün sürmüştür. Araç rotalama problemlerinde gezilmek istenen noktaların sayısının artırılması problem çözümü için harcanan zamanın katlanarak artmasına sebep vermektedir. İlk test senaryosunda kullanılan 31 farklı gezilen nokta sayısından dolayı problem büyük bir çözüm uzayında çalışmıştır.

İlk test senaryosunda oluşturulan rotalar incelendiğinde, Şemdinli ve Çukurca köylerinin bir arada değerlendirilmesinin sonucunda üçüncü rotanın diğer iki rotaya göre çok daha uzun olduğu görülmüştür. Bu sebeple eğer her iki ilçenin köylerinin birbirinden ayrıldığı, her birinin kendi içinde değerlendirildiği ikinci test senaryosu oluşturulmuştur.

İkinci senaryoda Şemdinli köyleri için ilk çıkış noktası Şemdinli Devlet Hastanesi iken, Çukurca köyleri için Çukurca Devlet Hastanesi ilk çıkış noktasıdır. Oluşturulan matematiksel modelde $dist_{i,j}$ değişkenine girdi olarak ayrı ayrı Ek 4'deki tablo

kullanılmıştır. Model her iki ilçe için ayrı ayrı çalıştırıldığında, Şemdinli köylerinin taleplerini kapsayan modelin en iyi çözümü olarak 148,34 km, Çukurca köylerinin taleplerini kapsayan modelin en iyi çözümü olarak 166,84 km elde edilmiştir. Şemdinli köyleri için iki, Çukurca köyleri için bir araç rotası oluşturulmuştur. Bu üç araç rotasının toplam uzunluğu 315,18 km'dir. Oluşturulan araç rotaları aşağıdaki Şekil 13' de gösterilmektedir. Ayrıca, Ek 6'de araç rotası tablosu verilmiştir.



Şekil 13. M1.2 Araç Rotası

Araçın her bir noktadan geçtikten sonra üzerinde olan kan numunesi sayısını gösteren değişken olan u_i değişkeni model çözümünde Ek 11 'da verilmiştir.

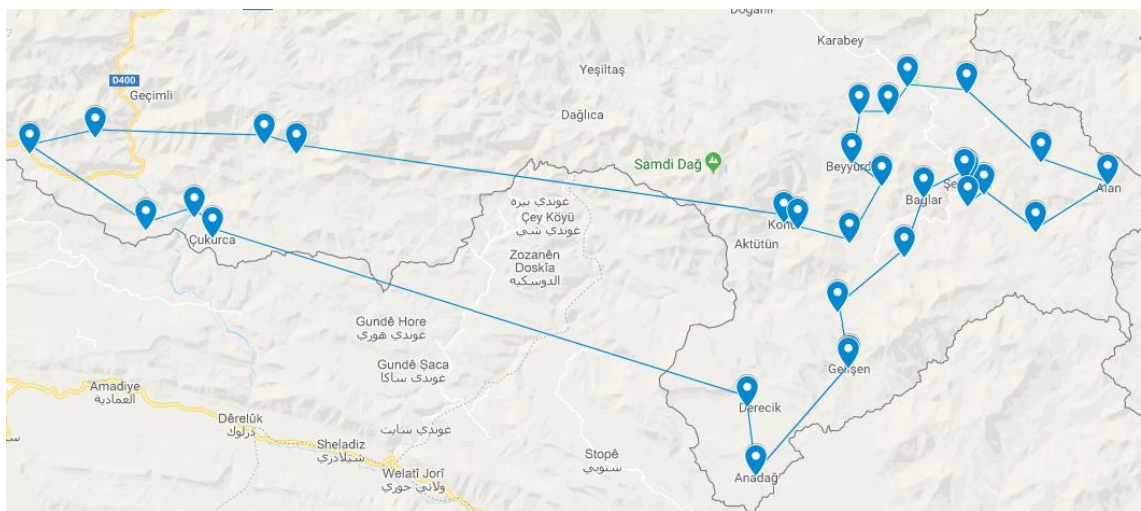
Birinci rotanın sonunda araçta taşınan kan numunesi sayısı 96, ikinci rotanın sonunda taşınan kan numunesi sayısı 99 ve üçüncü rota sonunda araçta taşınan kan numunesi sayısı 40'dır. Tüm noktaların talepleri karşılanmıştır.

İkinci test senaryosunun çözümünde için ihtiyaç duyulan problem çözüm zamanı Şemdinli ve Çukurca'da yer alan köylerin ayrı ayrı ele alınması ile büyük bir düşüş sağlamıştır. Şemdinli için yaklaşık 2 saatlik bir çözüm süresine ihtiyaç duyulurken bu süre Çukurca için 1 saat olmuştur. Şemdinli'de yer alan köy sayısı Çukurca'dan fazla olması sebebiyle daha uzun bir problem çözme süresine ihtiyaç duyulmuştur.

- **Model M1.1 ve Model M1.2'nin Karşılaştırma Sonucu:** İlk iki test senaryosu karşılaştırılarak, tek çıkış noktası yerine çoklu çıkış noktası olmasının amaç olan

yol mesafesi en küçükleme etkisi incelenmek istenmiştir. Buna göre, ilk test senaryosu olan tüm noktaların Şemdinli Devlet Hastanesinden çıkılarak talepler karşılandığında en iyi sonuç 326 km, Şemdinli ve Çukurca ilçelerinin ayrı ayrı taleplerinin karşılandığı ikinci test senaryosunda en iyi sonuç 315,18 km'dir. Problem için ihtiyaç duyulan çözüm süresi ilk test senaryosunda günler alırken ikinci test senaryosunda birkaç dakikaya indiği görülmüştür. Hızlı karar verilmesi gereken durumlarda problemin ilçe özelinde değerlendirilmesinin önemini bu karşılaştırma net bir şekilde göstermektedir. Yine problem çözüm süresi gibi tüm köylerin taleplerinin karşılanması için ihtiyaç duyulan seyahat süresi yaklaşık 49 dakika azalma göstermiştir. Taşınanın kan numunesi gibi tıbbi malzeme olduğu bu örnek gibi örneklerde bu süre farkı ciddi bir süre farkıdır. Ayrıca ikinci test senaryosunda oluşan alt turların uzunluğu daha homojen olarak dağılmıştır. Sonuç olarak, ilçe merkezli rota oluşturmanın, ortak bir noktadan rota oluşturmaya göre daha iyi bir sonuç ortaya koyduğu görülmüştür.

Üçüncü test senaryosunda, aynı veriler ile tüm noktaları kapsayan, çıkış noktası Şemdinli Devlet Hastanesi olan bir gezgin satıcı problemi modeli kullanılır. Oluşturulan gezgin satıcı matematiksel modelinde $dist_{i,j}$ değişkenine girdi olarak Ek 4 kullanılmıştır. Model çözümünde, en iyi çözüm olarak 283 km elde edilmiştir. Oluşturulan araç rotası aşağıdaki Tablo 8'de gösterilmektedir. Oluşturulan araç rotaları aşağıdaki Şekil 14' de gösterilmektedir. Ayrıca, Ek 7'da araç rotası tablosu verilmiştir.



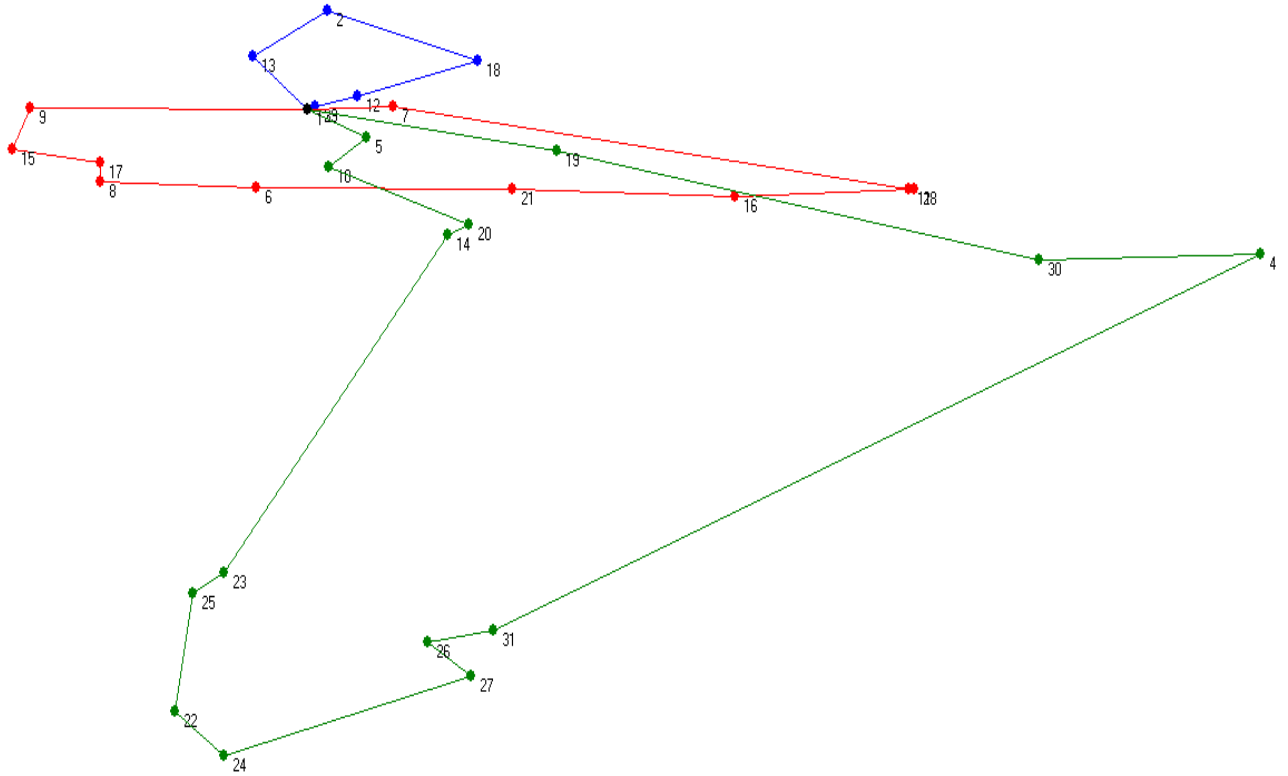
Şekil 14. M1.3 Araç Rotası

Aracın her bir noktadan geçtikten sonra üzerinde olan kan numunesi sayısını gösteren değişken olan u_i değişkeni model çözümünde aşağıdaki Ek 11 'da verilmiştir.

- **Model M1.1 ve Model M1.3'ün Karşılaştırma Sonucu:** Birinci ve üçüncü test senaryosunun karşılaştırılması ile kapasite kısıtlı olmadan, tek bir araç ve tek bir çıkış noktası ile kan numunesi taşımanın amaç fonksiyonu olan toplam mesafeyi, diğer kapasite kısıtlı matematiksel modele göre yaklaşık 43 km görülmüştür. Ayrıca, kapasite kısıtları dikkate alınmadan bir taşıma yapıldığında problem için ihtiyaç duyulan çözüm süresinde azalmalar görülmüştür. İlk test senaryosunda çözüm süresi günler alırken üçüncü test senaryosunda bu sürenin 1 dakikaya indiği görülmüştür. Bu durum kapasite kısıtının dikkate alındığında çalışma süresinin artışına dikkat çekmektedir. Fakat köylerin taleplerinin karşılanması için ihtiyaç duyulan araç seyahat süresi yaklaşık 41 dakika artma göstermiştir. Bunun sebebi tüm noktaların tek bir araç ile seyahat edilmesidir. Taşınan malın tıbbi bir malzeme olduğu bu gibi örneklerde bu süre önemli bir süredir.

Uygulanan üç test senaryosunda da en iyi çözüm bulmak amaçlanmıştır. Buna göre, en iyi rotalar ve en iyi mesafeler belirlenmiştir. Dördüncü test senaryosunda en iyi çözüm yerine uygun bir çözüm sunan VRP Solver yazılımı kullanılır. Bu yazılım, sezgisel çözüm yöntemlerinden biri olan Clark ve Wright Saving Algoritmasını kullanarak çözüm bulmaktadır. Bu test senaryosunda, tek bir noktadan çıkılarak, tüm köylerin taleplerinin karşılanması amaçlanmıştır. Kullanılan yazılıma girdi olarak Ek 12'de verilen köy, hastane, sağlık ocağı ve aile sağlığı merkezlerinin koordinatları ve talepleri kullanılmıştır. Euclidean olarak hesaplanan noktalar arası uzaklıkların kullanılan yazılımdaki görüntüsü Ek 13' de verilmiştir. Araç kapasitesi olarak yazılıma 100 kan numunesi verilmiştir. Model çalıştırıldığında sonuç olarak üç rotadan oluşan 379 km uzunluğunda bir sonuç bulunmuştur. İlk rotanın toplam uzunluğu, 40 km, ikinci rotanın toplam uzunluğu 75 km ve üçüncü rotanın toplam uzunluğu 264 km'dir. Buna göre oluşturulan araç rotaları Ek 8'de gösterilmektedir. Yazılımın çıktısı olarak çizilen rota Şekil 15'de verilmiştir. Şekildeki her bir farklı renk, farklı bir İHA rotasını ifade etmektedir.

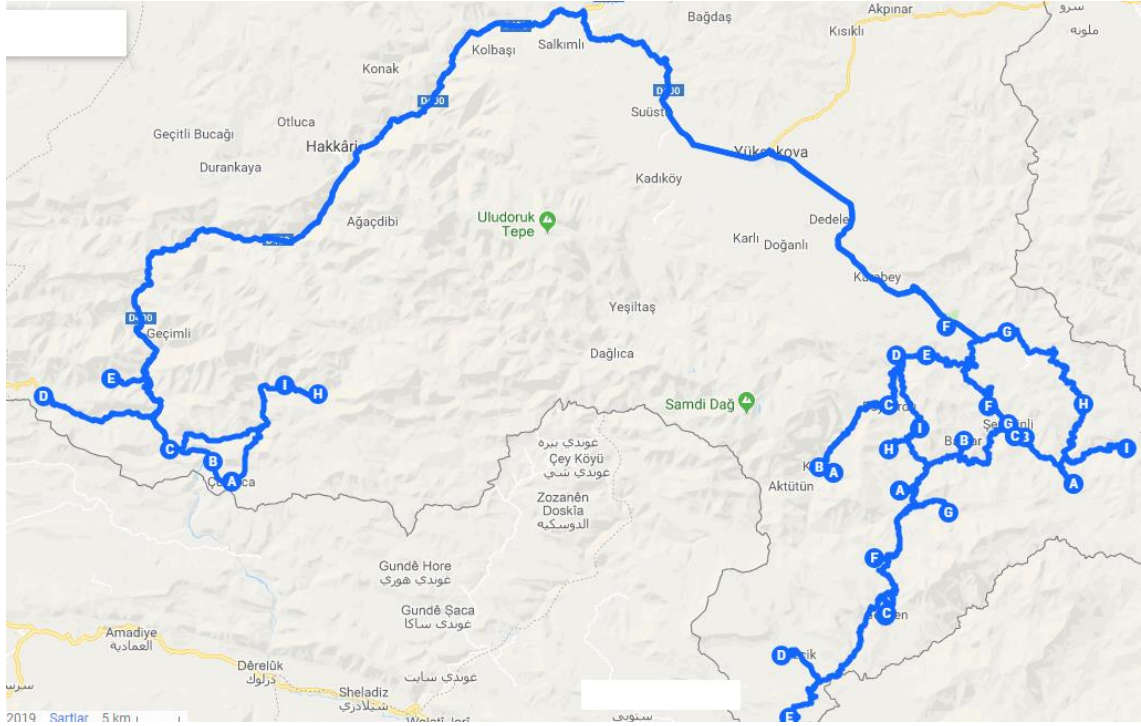
- **Model M1.1 ve Model M1.4'ün Karşılaştırma Sonucu:** Birinci ve dördüncü test senaryolarında veri olarak aynı uzaklık ve talep verileri kullanılmıştır. Birinci test senaryosunda bulunan en iyi çözüm uzaklığı 326 km iken, dördüncü test senaryosunda sadece uygun çözüm bulunmak istendiğinde bulunan uzaklık 379 km'dir. En iyi çözüm ile uygun bir çözümün arasında 50 km civarında ve yaklaşık %16 oranında yüksek bir fark bulunmuştur. En iyi çözümü bulan model saatlerce çalışıp çözüm verirken, VRP Solver yazılımı ile bulunan uygun çözümlü model 20 saniye gibi kısa bir sürede çözüme ulaşmıştır. Bu durumda problemin çözüm hızının artmasına rağmen, en iyi çözüm yerine uygun bir çözüm kabul edildiği durumda yüzde olarak yaklaşık %15,2 daha kötü ve verimsiz bir sonucun kabul edilmesi gerektiğini göstermektedir. Ayrıca, tüm noktaların taleplerinin karşılanması için kabul edilmesi gereken seyahat süresi 27,6 dakika artmıştır. Problemin çözümünde ihtiyaç duyulan çözüm süresi ise en iyi çözüm bulunurken günler iken, uygun bir çözüm bulunan bu örnekte dakikalara inmiştir. Karar vericinin test senaryoları arasında seçim yaparken, yani en iyi çözüm için katlanılması gereken işlem zamanının göze alınıp alınmaması kararını verirken, bu durumları göz önüne alması gerekmektedir.



Şekil 15. M1.4 Araç Rotası

Beşinci test senaryosunda İHA yerine binek araç kan numunelerinin belirlenen noktalar arasında taşınmasında kullanılmaktadır. Bu senaryoda da ilk çıkış noktası olarak Şemdinli Devlet Hastanesi belirlenmiştir. Belirlenen tüm köyler ile hastane, sağlık ocağı ve toplum sağlığı merkezleri Şemdinli Devlet Hastanesi'nden çıkan bir binek araç ile gezilmektedir. Ek 16' de tüm köyler, hastaneler ve sağlık ocaklarının birbiri arasındaki en kısa karayolu ulaşım mesafeleri verilmiştir. Oluşturulan bu tablo modelde $dist_{i,j}$ değişkenine girdi olarak verilir. Her bir belirlenen noktanın kendi talepleri vardır. Bu talep verileri birinci test senaryosunda kullanılan talep verileri ile birebir aynı kullanılmıştır. Bir araç ile tüm bu noktaların toplam taleplerinin karşılanması mümkündür. Talepler göz önüne alınarak, kurulan kapasite kısıtlı araç rotalama problemi çalıştırılır. Model çözdürüldüğünde, en iyi çözüm olarak 627,8 km elde edilmiştir. Aracın her bir noktadan geçtikten sonra üzerinde olan kan numunesi sayısını gösteren değişken olan u_i değişkeni model çözümünde Ek 11 'da verilmiştir. Rotanın

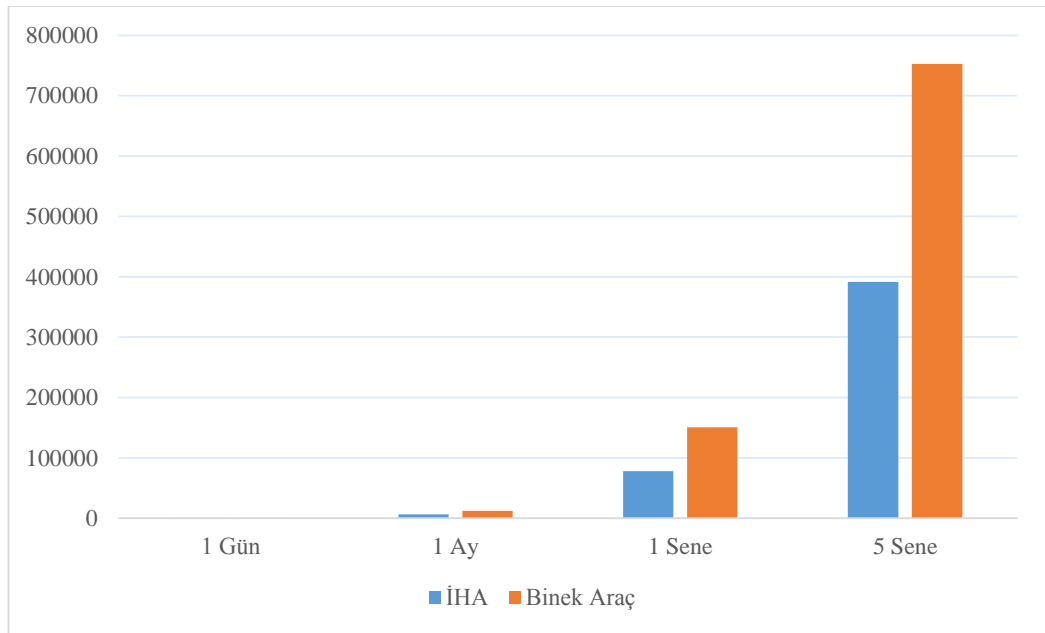
sonunda araçta taşınan kan numunesi sayısı 245'dir. Tüm noktaların talepleri karşılanmıştır. Oluşturulan araç rotaları aşağıdaki Şekil 16' da gösterilmektedir. Ayrıca Ek 9'de araç rotası tablosu verilmiştir.



Şekil 16. M1.5 Araç Rotası

- **Model M1.1 ve Model M1.5'in Karşılaştırma Sonucu:** Dördüncü senaryonun çözüm sonucu ile ilk senaryo olan İHA'lar ile ilk çıkış noktası olarak belirlenen Şemdinli Devlet Hastanesi'nden tüm bölgenin taleplerinin karşılanmasında kullanılan uzaklık değişkeni ve araç kapasitesi farklılık göstermiştir. Sadece bu farklılıklar ile aynı model kullanıldığında ilk test senaryosunda elde edilen 326 km'lik en kısa yol mesafesinin yaklaşık iki katı bir yol mesafesi elde edilmiştir. Kamyon mal taşıma kapasitesinin bir İHA'nın taşıma kapasitesine göre çok daha yüksek olması sebebiyle tek bir kamyon ile tüm noktalar seyahat edilebilmektedir. Fakat iki noktanın birbiri arasındaki mesafe hava yoluna göre kara yolu ile çok daha yüksek olması sebebiyle, tüm noktaların taleplerinin karşılanması için katlanılması gereken seyahat süresi 5 saat artmıştır. Problemin

çözümü için gerekli olan çözüm zamanı da ilk test senaryosunda günler iken, kamyonla taşıma yapılması probleminin çözümünde yaklaşık bir dakikaya inmiştir. Ayrıca, bir binek araç ile bir İHA'nın bir gün, bir ay, bir yıl ve beş yıl içinde kat ettiği mesafe karşılaştırıldığında Şekil 17'deki gibi bir sonuç elde edilmiştir. Bu test senaryolarının incelenmesi ile karayolu ile ulaşım sağlamanın hava yolu ile ulaşım sağlamaya göre yüksek maliyetlere sebep olduğu görülmüştür. Ayrıca bir binek aracın fiyatı ve şoför maliyeti ile alınacak bir İHA'nın fiyatı karşılaştırıldığında İHA'ların çok daha fiyat performansının yüksek olduğu bu test senaryoları ile görülmüştür. Seçilen bölge olan Hakkari dağlık ve terör olaylarının yaşandığı bir ilimizdir. Terör olaylarının yaşandığı bu gibi bölgelerde İHA'ların taşımalarda kullanılması şoför gereksinimi olmadığı için risksiz taşımalardır. Bu test senaryosunun ele alınması ile İHA'ların sadece hızlı, kolay bir ulaşım aracı değil aynı zamanda güvenli bir taşıma sağlayan araçlar olduğu gösterilmek istenmiştir. Ülkemizde dağlık ve terör olaylarının yaşandığı bu gibi bölgelerde tıbbi yardımların yanı sıra birçok önem arz eden taşımaların İHA'lar ile yapılması mümkündür. Tüm bu sonuçlar karar vericiler tarafından kamyon yerine taşımaların İHA'lar ile yapılması kararı verilirken değerlendirebilecekleri unsurlardır.



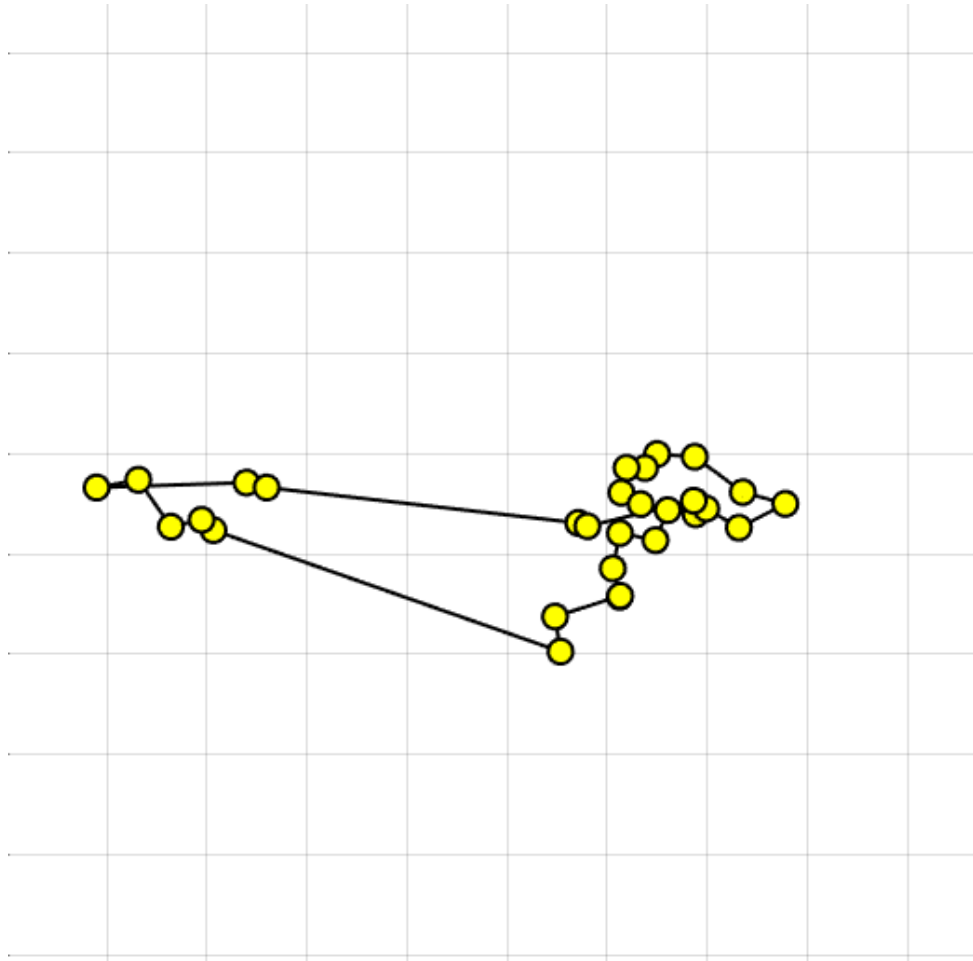
Şekil 17. İHA- Binek Araç Alınan Mesafeler (km)

Altıncı test senaryosunda belirlenen tüm noktalar İHA ile gezilmektedir. Bu test senaryosunda köylerin kapasite kısıtları dikkate alınmamıştır. Problem GSP olarak ele alınmıştır. Problem çözümünde en iyi yol bulunması amaçlanmamıştır. Onun yerine Karınca Kolonisi Algoritması ile sezgisel, uygun bir çözüm bulunması amaçlanmıştır. Aşağıdaki Tablo 6'da yer alan parametreler, Karınca Kolonisi Algoritmasına girdi olarak kullanılmıştır.

Tablo 5. Uygulama 1, Test Senaryosu 6, Parametre Değerleri

PARAMETRELER	GİRDİ DEĞERLERİ
Karınca Sayısı	300
Alfa Değeri	1,0
Beta Değeri	3,5
Feromon Buharlaştırma Değeri	0,8

Oluşturulan algoritma 1000 adım için çalıştırılmıştır. Bu adımların her birinin ilk çıkış noktası Şemdinli Devlet Hastanesi olarak belirlenmiştir. Her bir adımın sonucunda da yine İHA'nın varış noktası Şemdinli Devlet Hastanesidir. Algoritma çalıştırılması sonucunda yapılan 1000 adım içinde bulunan en uygun çözüm 345,12 km'dir. Algoritma 1000 adım çalıştırılmasına rağmen bu sonuç 16. adımda bulunmuştur. Bu durumun sebebi problemde gezilmesi gereken noktaların sayısının çok da fazla olmamasıdır. Kullanılan MATLAB yazılımı sonucunda programın çıktısında yer alan araç rotasını gösteren görsel Şekil 18'de gösterilmektedir.



Şekil 18. M1.6 Araç Rotası

Ek 10'da ise seçilen algoritmanın çözümü ile belirlenen en uygun araç rotası gösterilmektedir.

Kan numunelerinin ulaşılması zor dağ köylerine taşınmasında iki farklı sezgisel zm yöntemi kullanılmıştır. Bunlardan ilki Karınca Kolonisi algoritması kullanılarak sezgisel bir zm elde edilen altıncı test senaryosu iken ikincisi yine sezgisel zm yöntemlerinden olan Clark ve Wright Saving Algoritması'nın kullanılması ile sezgisel bir zm elde edilen dördüncü test senaryosudur. Bu iki test senaryosunu birbirinden ayıran en önemli fark, altıncı test senaryosunda belirlenen köylerin kan numunesi ihtiyaçı dikkate alınmamıştır. Bu sebeple altıncı test senaryosunda tek bir araç rotası oluşturulurken, dördüncü test senaryosunda tasarruf algoritmasının kullanılması ile taşıma yapan üç farklı araç rotası oluşturulmuştur. Bu test senaryoları ile karar vericilere, seçim kriterlerinde kapasite kısıtının yer aldığı, sezgisel bir zm elde etmek istenen problemlerde iki sezgiselden Clark ve Wright Saving Algoritması'nın kullanılmasının daha doğru olacağı gösterilmek istenmiştir.

- **Model M1.3 ve Model M1.6'nın Karşılaştırma Sonucu:** TSP olarak ele alınan ve sezgisel bir zm veren altıncı test senaryosu ile hesaplanan toplam alınacak en kısa yol mesafesi 345,12 km iken yine TSP olarak ele alınan fakat en iyi zm yolunun hesaplanmasını amaçlayan nc test senaryosunda hesaplanan toplam alınacak en kısa yol mesafesi 283 km'dir. İki test senaryosu ile elde edilen zm arasında yaklaşık %21 oranında bir fark olduğu görülmektedir. Seyahatte tüm bölgelere uğranılması için gerekli olan seyahat süresi en iyi zm yolu yerine sezgisel bir zm yolu izlendiğinde 46 dakika artmıştır. Tüm bu farklar zm için en iyi sonuç bulmayı hedefleyen bir yöntem seçilmediğinde katlanılması gereken yüksek hata payını göstermektedir.

Tüm test senaryolarının karşılaştırması sonucunu gösteren zet Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 6. Birinci Uygulama Test Senaryoları Karşılaştırma Sonuçları

MODEL NO	KARŞILAŞTIRMA SONUCU
M1.1 - M1.2	M1.2 de İHA'nın aldığı toplam yol mesafesi M1.1 'e göre %3,31 iyileşmiştir. Ayrıca alınan seyahat süresinde 46 dakika azalma gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, ilçe merkezli rota oluşturmanın, ortak bir noktadan rota oluşturmaya göre daha iyi bir sonuç ortaya koyduğu görülmüştür.
M1.1 – M1.3	M1.3 de İHA'nın aldığı toplam yol mesafesi M1.1 'e göre %13,2 iyileşmiştir. Fakat tek bir araç ile seyahat edildiği için uçuş süresi 21 dakika kötüleşme göstermiştir. Sonuç olarak kapasite kısıtı olmadan, tek bir araç ve tek bir çıkış noktası ile kan numunesi taşımının toplam alınan mesafeyi, M1.1 modeline göre büyük ölçüde azalttığı görülmüştür.
M1.1 – M1.4	M1.4 de İHA'nın aldığı toplam yol mesafesi M1.1 'e göre %15,2 kötüleşirken aynı zamanda toplam uçuş süresi de 28 dakika saat uzamıştır. En iyi çözüm için katlanılması gereken işlem zamanı göze alınıp alınmaması kararını verirken, bu durumların göz önüne alması gerekmektedir.
M1.1 – M1.5	M1.5 de İHA'nın aldığı toplam yol mesafesi M1.1 'e göre %92,5 kötüleşirken aynı zamanda toplam uçuş süresi de 5 saat uzamıştır. Ayrıca bir binek aracın fiyatı ve şoför maliyeti ile alınacak bir İHA'nın fiyatı karşılaştırıldığında İHA'ların çok daha fiyat performansının yüksek olduğu bu test senaryoları ile görülmüştür.
M1.3 – M1.6	M1.6 da İHA'nın aldığı toplam yol mesafesi M1.3 'e göre %21 kötüleşirken aynı zamanda toplam uçuş süresi de 47 dakika uzamıştır. Bu test senaryolarının karşılaştırılması ile çözüm için en iyi sonuç bulmayı hedefleyen bir yöntem seçilmediğinde katlanılması gereken yüksek hata payı net bir şekilde görülmüştür.

3.4.2 Ormanlık Bölgelerin İnsansız Hava Araçları İle Gözetlenmesi Uygulaması

Yangın gözetleme ve keşif uçuşlarında İHA'ların kullanılması insanlık yararına kullanıldığı en önemli uygulamalardan biridir. Çalışmada ikinci uygulama olan ormanlık bölgelerin izlenmesi ve yangınların oluşmasının engellenmesi için, ormanlık bölgelerin insansız hava araçları ile gözetlenmesi için Tablo 8'de model numaraları, tanımları, çözüm yöntemleri ve merkez özelliği verilen üç test senaryosu oluşturulmuştur. Marmaris Milli Parkı üzerinde birer kilometre aralıklarla gözlem noktaları belirlenmiştir. Her üç test senaryosunda da bu seçilen gözlem noktalarının koordinat bilgileri kullanılmıştır.

Tablo 7. İkinci Uygulama Test Senaryoları

MODEL NO	PROBLEM TANIMI	YÖNTEM	MERKEZ
M2.1	Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi	Sezgisel	(Tek Merkez)
M2.2	Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi	Sezgisel	(Üç Merkez)
M2.3	Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi- Farklı Araç	Sezgisel	(Tek Merkez)

- İlk test senaryosu olan Model M2.1'de, tüm gözlem noktaları için ortak bir çıkış noktası belirlenmiştir. Bu nokta alanın orta noktalarından seçilmiştir. Bu noktadan çıkan insansız hava araçları ile tüm gözlem noktaları gezilerek uygun bir gözlem rotası oluşturulması amaçlanmıştır. Bu gözlem rotasında ortak bir noktadan çıkan İHA'lar tekrar başlangıç noktasına geri dönmektedir. Uygun bir çözüm veren VRP Solver yazılımı kullanılarak çözüme ulaşılmıştır.

- İkinci test senaryosu için, alan üç parçaya bölünmüştür. Her bir parçanın ortak noktaları belirlenmiştir. Belirlenen bu ortak noktalardan çıkan insansız hava araçlarının her biri için kendi bölgesindeki gözlem noktalarını içeren uygun bir gözlem rotası oluşturulur. Her bir araç çıkış yaptığı ana noktaya geri dönmektedir. Uygun bir çözüm veren VRP Solver yazılımı bu test senaryosunda da kullanılmıştır.
- Üçüncü test senaryosu için yine tüm gözlem noktaları için ortak bir çıkış noktası belirlenmiştir ve bu nokta alanın orta noktalarından seçilmiştir. Bu noktadan çıkan aracın tüm gözlem noktalarını gezerek uygun bir çözüm rotası oluşturması amaçlanmıştır. Bu uygulamada daha uzun süre havada kalabilen ve irtifa uzaklığı daha yüksek olan kanatlı bir drone tercih edilmiştir. Yine uygun bir çözüm veren VRP Solver yazılımı kullanılmıştır.

Bu üç test senaryosu çözümleri, Tablo 9’da yer alan test senaryosu model numaralarına göre ve belirtilen karşılaştırma yapılma amaçları çerçevesinde birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Tablo 8. İkinci Uygulama Karşılaştırma Yapılma Amacı

MODEL NO	KARŞILAŞTIRMA YAPILMA AMACI
M2.1 - M2.2	Tek bir çıkış noktası yerine üç farklı çıkış noktasından araç çıkarılıp gözlem noktaları izlenmesi durumundaki toplam km uzunlukları ve rotalar arasındaki farklılıklar incelenmek istenmiştir.
M2.1 – M2.3	Aynı ortak bir noktadan çıkış yapan aracın uçuş irtifasının ve havada kalma süresinin iyileştirilmesi sonucunda oluşturulacak rota sayısı ve gözlem noktaları rotası arasındaki farklılıklar incelenmek istenmiştir.

Model M2.1 ve Model M2.2 Karşılaştırılması

İlk iki test senaryosu ile tek bir nokta yerine üç farklı noktadan araç çıkarılıp gözlem noktaları izlenmesi durumundaki toplam km uzunlukları ve rotalar arasındaki

farklılıklar incelenmek istenmiştir. Bu sayede İHA'ların kalkış yaptığı noktanın sayısı ve bulunduğu konumun öneminin incelenmesi istenmiştir. Her iki test senaryosunda da en iyi çözüm yerine, uygun bir çözüm bulmak amaçlanır.

Model M2.1 ve Model M2.3 Karşılaştırılması

Birinci ve üçüncü test senaryosu ile aynı ortak bir noktadan çıkış yapan aracın uçuş irtifasının ve havada kalma süresinin iyileştirilmesi sonucunda oluşturulacak rota sayısı ve gözlem noktaları rotası arasındaki farklılıklar incelenmek istenmiştir. Aynı zamanda araç iyileştirmesinin dolayısıyla maliyetin artmasının performans iyileştirmesine ilişkisi incelenmek istenmiştir.

3.4.2.1 Verinin Oluşturulması

Marmaris Milli Parkı üzerinde birer kilometre aralıklarla belirlenen 275 tane gözlem noktalarının koordinatları Ek 14'de verilmiştir. Girilen koordinatlara göre noktaların birbiri arasındaki uzaklık Euclidian olarak hesaplanmıştır. Kamyon kapasitesi olarak ilk uygulamadan farklı olarak Flammini, Concetta ve Smarra'nın 2016 yılında çalışmalarında kullandığı gibi DJI Phantom 4 marka bir insansız hava aracının kullanıldığı varsayılmıştır. Bu İHA'nın gidebileceği en çok uzaklık 36 km'dir. Seçilen bölgedeki noktalar birer kilometre aralıklarla seçildiği için yazılıma araç kapasitesi olarak 36 verilmiştir.

İlk test ve üçüncü senaryosunda çıkış noktası olarak, tüm alanın orta noktalarından olan koordinatları "36.896455 28.424318" olan nokta kullanılmıştır. İkinci test senaryosunda alan üç bölüme bölünmüştür. Her bir alanın orta noktası kendi bölümlerinin çıkış noktası olarak belirlenmiştir. Birinci alanın orta noktasının koordinatı "36.856061 28.510573", ikinci alanın orta noktasının koordinatı "36.887480 28.424323" ve üçüncü alanın orta noktasının koordinatı "36.862477 28.345574" dır.

Araç kapasitesi olan için piyasadaki kullanılan insansız hava araçları incelenmiştir. Piyasada sıkça kullanılan, erişilmesi kolay olan kullanılan DJI Phantom 4 marka bir İHA'nın özellikleri şöyledir; (Flammini, F, Pragliola, C, Smarra, G, 2016)

- Max hızı= 72 kilometre/saat

- Ortalama uçuş süresi 0,5 saat
- Uçuş uzaklığı 36 kilometre
- Yaklaşık fiyatı \$5000

Bu İHA'nın maksimum kalkış ağırlığı 25 kg dan az olduğu için bu bir küçük drone olarak kabul edilir.

Üçüncü test senaryosunda ise ilk uygulamada kullanıldığı gibi UASUSA marka kanatlı bir İHA tercih edilmiştir.

3.4.2.2 Sayısal Sonuçlar

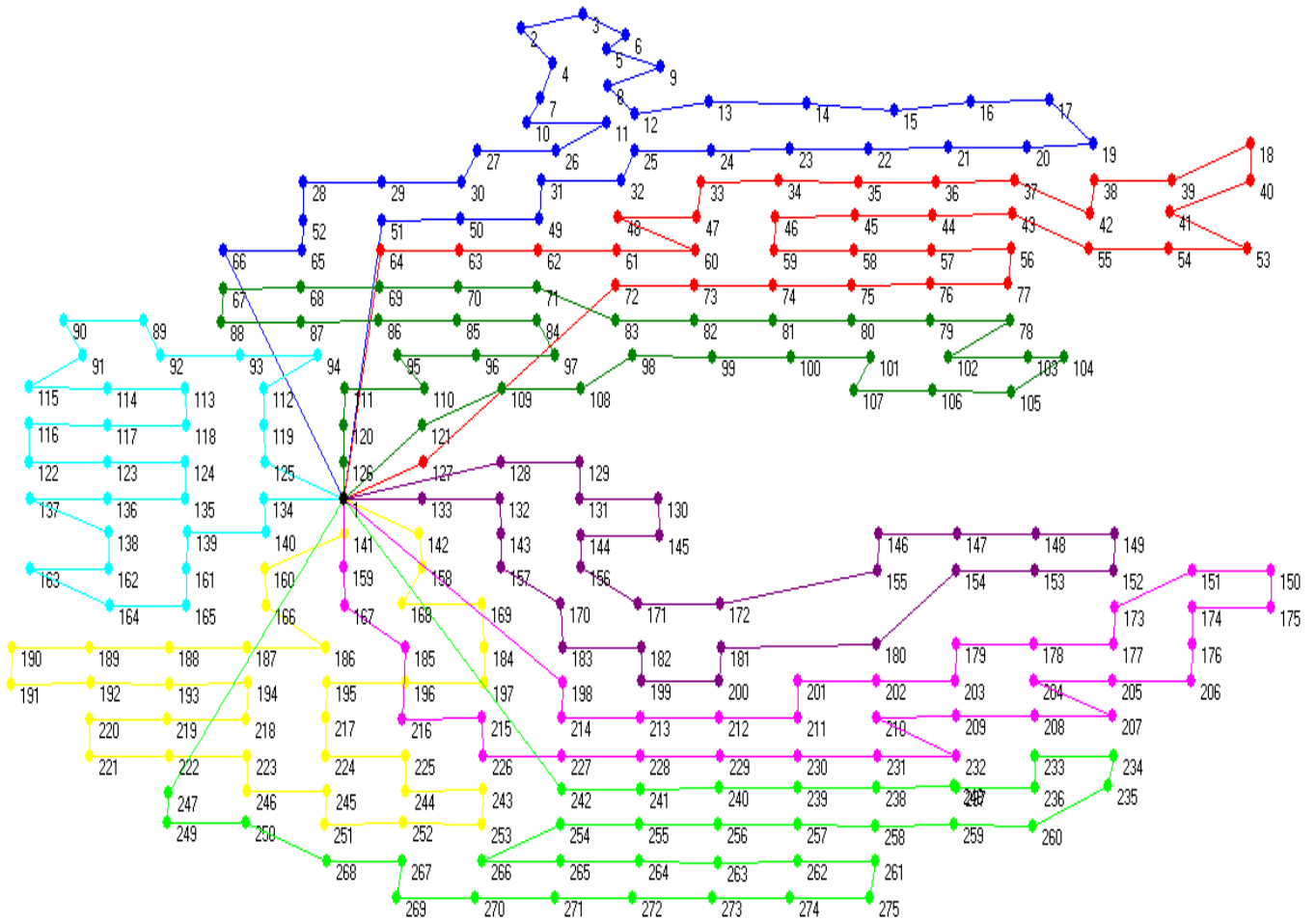
Belirlenen test senaryolarının çözümünde hesaplanan toplam alınan yol mesafesi, hesaplanan araç sayısı, tam rota için gerekli olan seyahat süresi ve model çözümü için gerekli olan çözüm zamanı Tablo 10'da gösterilmektedir.

Tablo 9. İkinci Uygulama Test Senaryoları Çözümleri

MODEL NO	TOPLAM MESAFE	ARAÇ SAYISI	SEYAHAT SÜRESİ (Dakika)	TOPLAM ARAÇ MALİYETİ
M2.1	336	8	42	\$40000
M2.2	309	9	47	\$45000
M2.3	223	1	185	\$27000

İlk test senaryosu olan Model M.2.1'de belirlenen orta nokta olan çıkış noktasından çıkan bir insansız hava aracı ile tüm noktalar gezilmektedir. VRP Solver programına verilerin yüklenmesi ile uygun bir çözüm olarak 336 km bulunmuştur. Çözümde Marmaris Milli Parkı oluşturulan sekiz farklı alt tur ile izlenmektedir. Bu alt turların

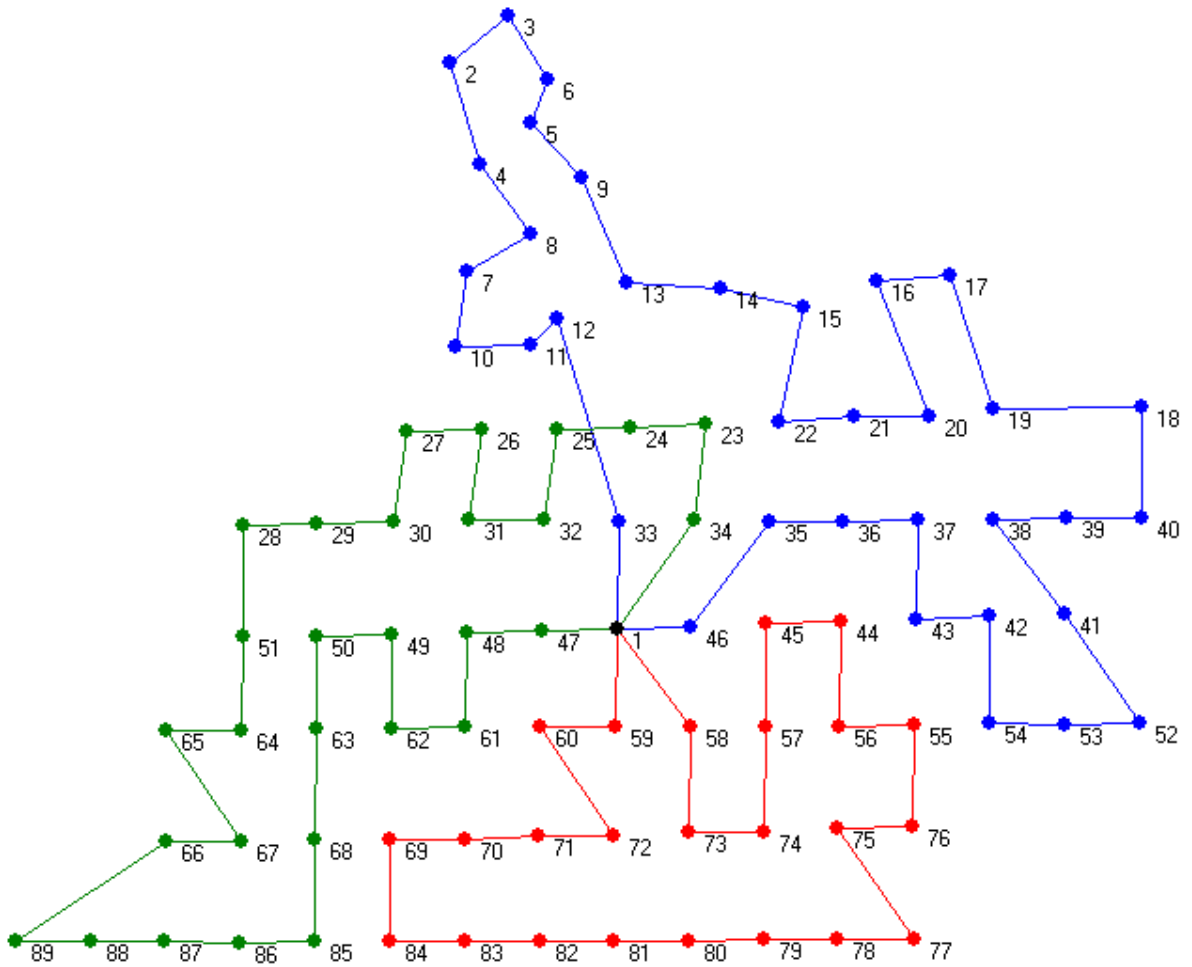
uzunlukları sırasıyla 49, 49, 38, 32, 34, 38, 45 ve 51 km'dir. Yazılım çözüm bulmak için 12,91 saniye çalışmıştır. Aşağıda yazılımın çözümünde çizilen noktalar arası seyahat rotası Şekil 19'da verilmiştir. Bu Test senaryosundaki verilen ile tüm gün için bölgenin yangın gözetlemesinin yapıldığında bir günde en az 35 kere bölgenin gözetlenmesi ihtiyacı doğmuştur. Alınan toplam yol mesafesinin ise bir gün için 11.760 km olduğu görülmüştür.



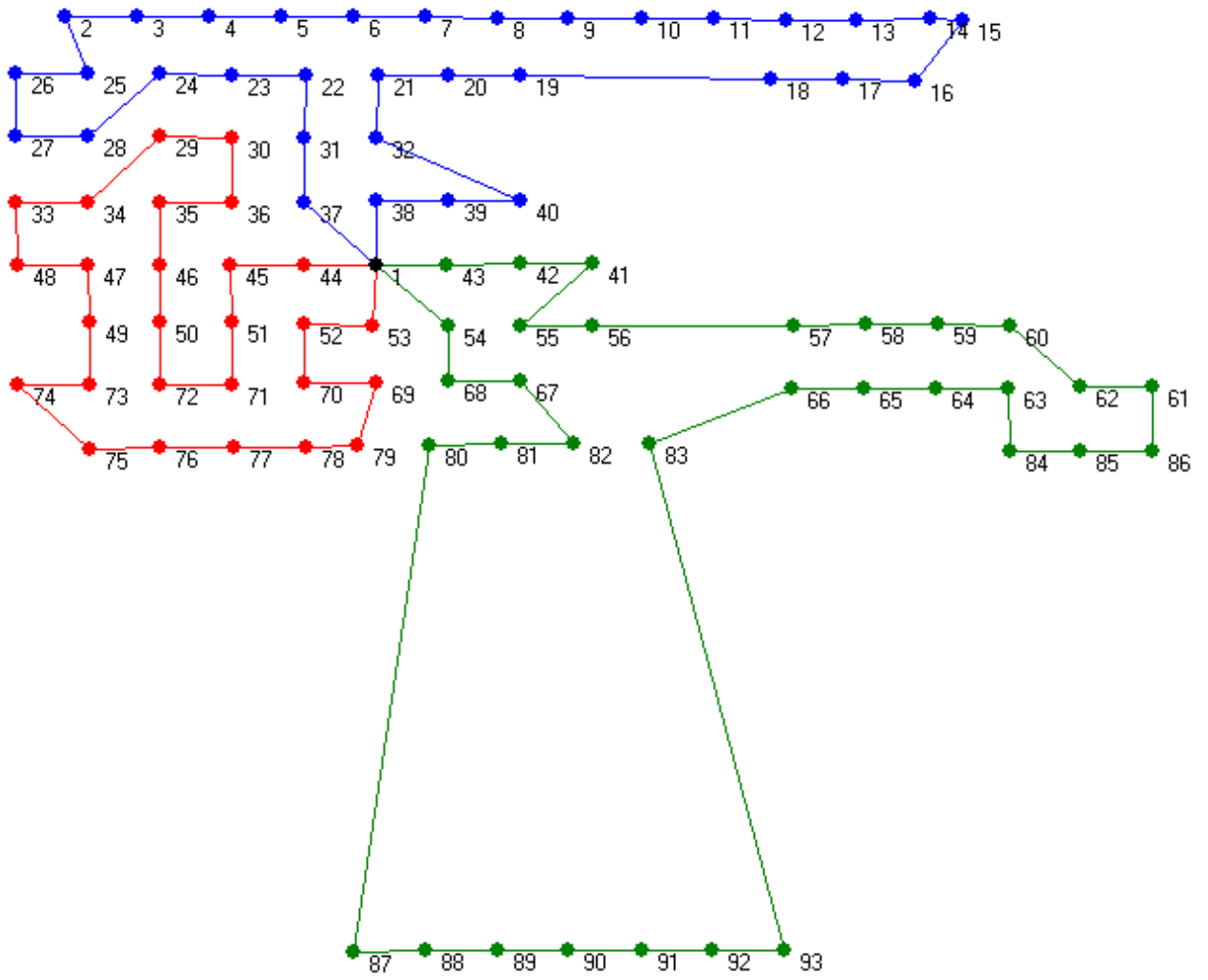
Şekil 19. M2.1 Araç Rotası

İkinci test senaryosu olan Model M2.2'de Marmaris Milli Parkı üç alt alanlara bölünmüştür. Bu alanların belirlenen orta noktalarından çıkan bir insansız hava aracı ile o alana ait tüm alt noktalar gezilmektedir. VRP Solver programına verilerin yüklenmesi ile birinci alt alanın uygun çözümü olarak 90 km, ikinci alt alanın uygun çözümü olarak

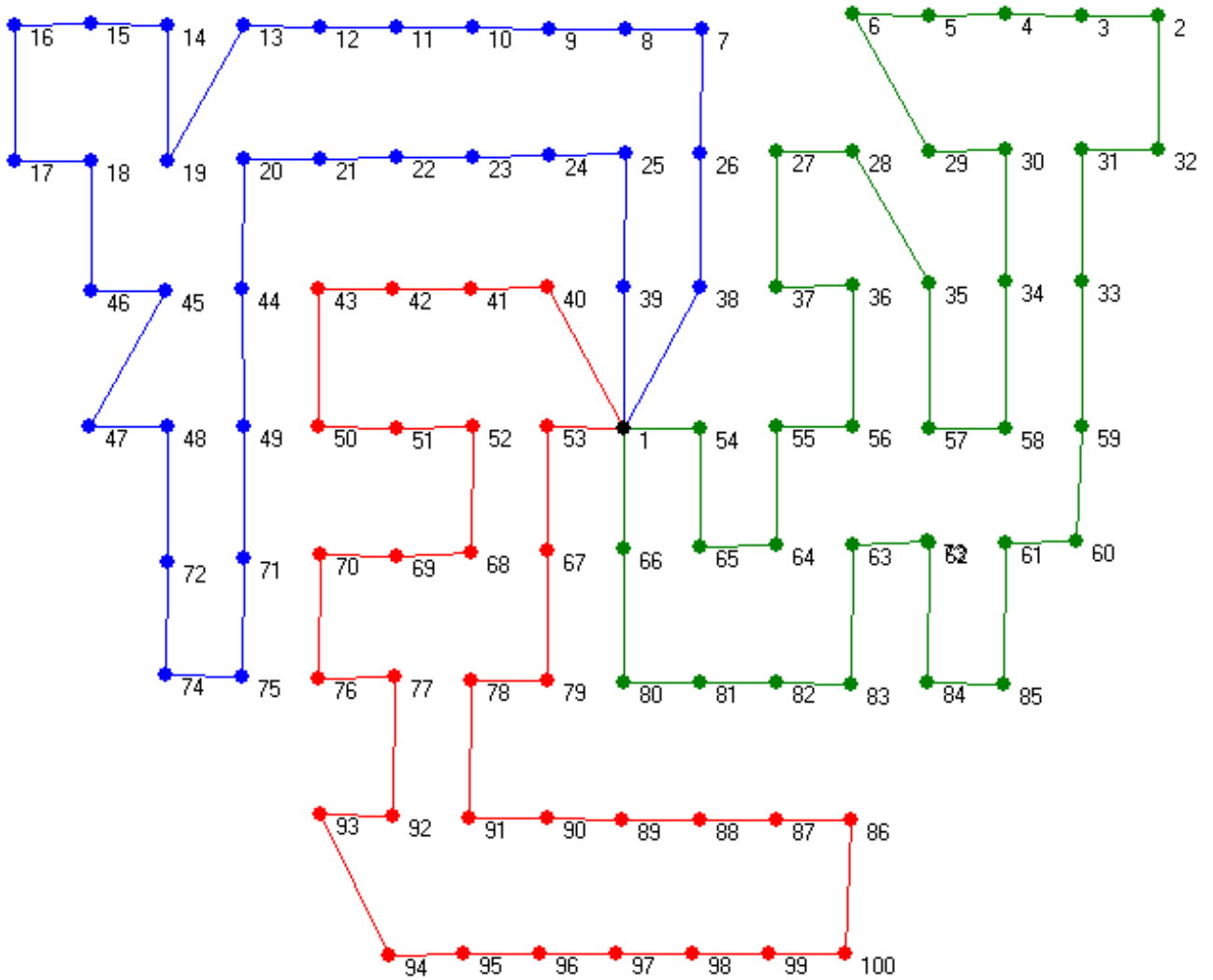
117 km ve üçüncü alt alanın uygun çözümü olarak 102 km bulunmuştur. Tüm alan için oluşturulan uygun çözüm 309 km bulunmuştur. Çözümde Marmaris Milli Parkı üç alt alan için de 3 farklı rota toplamda 9 farklı rota oluşturulmuştur. Aşağıdaki Şekil 20’de ilk bölgenin, Şekil 21’de ikinci bölgenin ve Şekil 22’de üçüncü bölgenin yazılımın çözümünde çizilen alt alanlar arasındaki noktalar arası seyahat rotası verilmiştir. Ayrıca, Ek 15’da elde edilen bu alt alanların yazılım sonucu verilmiştir. Bu Test senaryosundaki verilen ile tüm gün için bölgenin yangın gözetlemesinin yapıldığında bir günde en az 31 kere bölgenin gözetlenmesi ihtiyacı doğmuştur. Alınan toplam yol mesafesinin ise bir gün için 9.579 km olduğu görülmüştür.



Şekil 20. M2.2 Birinci Bölge Araç Rotası



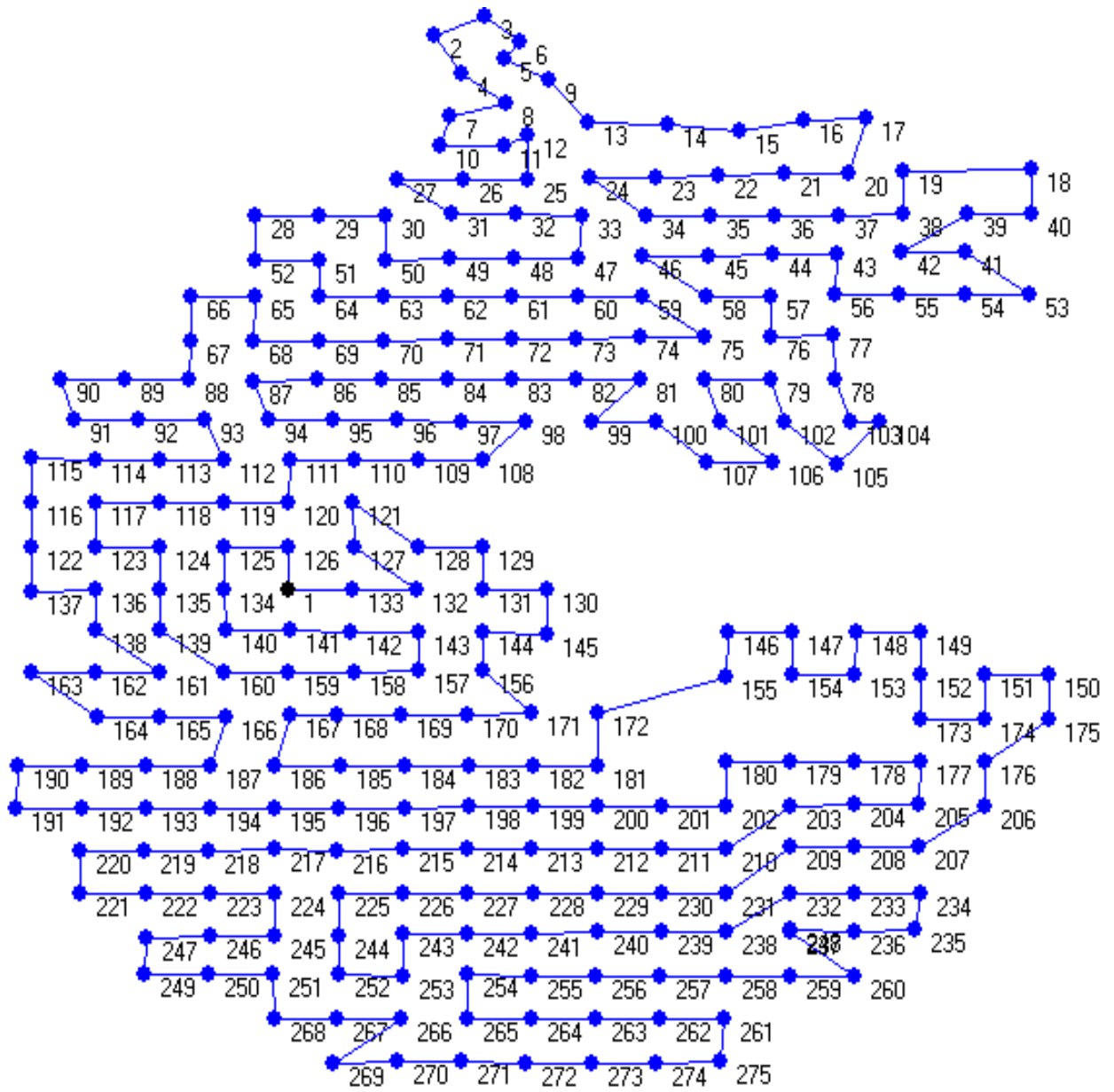
Şekil 21. M2.2 İkinci Bölge Araç Rotası



Şekil 22. M2.2 Üçüncü Bölge Araç Rotası

- **Model M2.1 ve Model M2.2'nin Karşılaştırma Sonucu:** Bu iki test senaryosu ile tek bir nokta yerine üç farklı noktadan araç çıkarılıp gözlem noktaları izlenmesi durumundaki sonuç üzerindeki farklılıklar incelenmiştir. İki test senaryosundaki uygun çözümler kıyaslandığında, ortak bir nokta yerine alanın üçe bölünmesi durumunda, 336 olan toplam mesafe km'sinin 309'a indiği gözlemlenmiştir. Fakat tüm belirlenen noktalardaki yangın gözetlemeler için gerekli olan alt rota sayısı 8'den 9'a çıkmıştır. Buda gerekli olan insansız hava aracı sayısının arttığını göstermektedir. Seçim yaparken karar vericinin araç maliyeti ile seyahat mesafesine harcanan maliyet arasındaki farkı değerlendirmesi gerekmektedir.

Üçüncü test senaryosunda yine belirlenen orta nokta olan çıkış noktasından çıkan bir insansız hava aracı ile tüm noktalar gezilmektedir. VRP Solver programına tüm alanın koordinat verilerinin yüklenmesi ile uygun bir çözüm olarak 273 km bulunmuştur. Aşağıda yazılımın çözümünde çizilen noktalar arası seyahat rotası Şekil 23'de verilmiştir. Bu test senaryosundaki verilen ile tüm gün için bölgenin yangın gözetlemesinin yapıldığında bir günde en az 8 kere bölgenin gözetlenmesi ihtiyacı doğmuştur. Alınan toplam yol mesafesinin ise bir gün için 1.784 km olduğu görülmüştür.

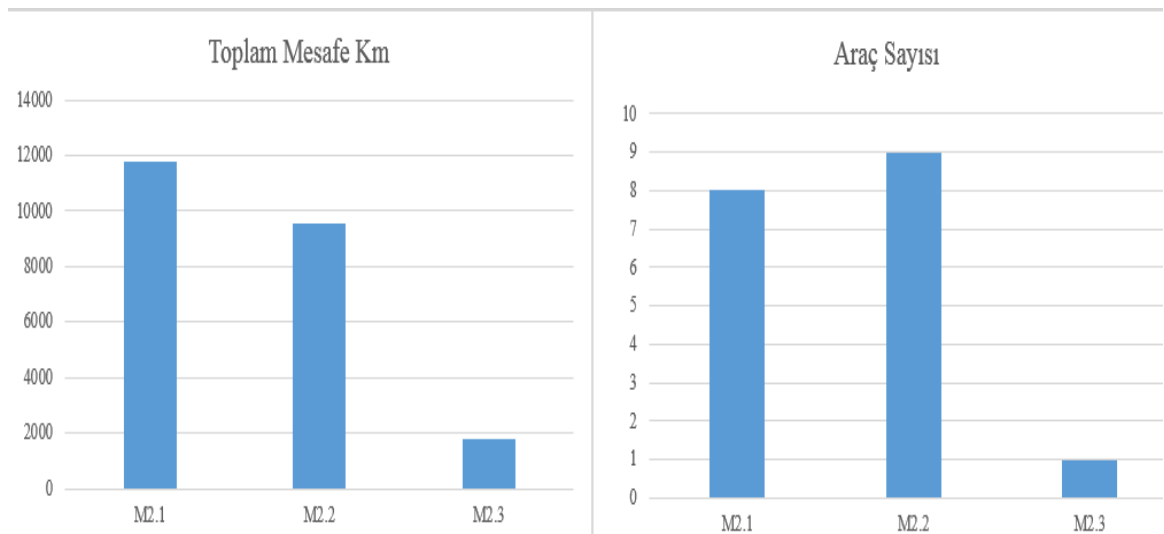


Şekil 23. M2.3 Araç Rotası

Bu test senaryosunda kanatlı bir drone tercih edilmiştir. Bunun sebebi kanatlı drone un daha uzun süre havada kalabilmesi ve irtifa uzaklığının daha yüksek olmasıdır. Çözümde görüldüğü üzere tek bir araç ile gözlem noktalarının gezildiği bir seyahat rotası oluşturulmuştur.

- **Model M2.1 ve Model M2.3'nin Karşılaştırma Sonucu:** İlk test senaryosu ile üçüncü test senaryosunun karşılaştırılmasında 336 olan toplam rotanın kanatlı bir drone kullanılması durumunda 223 e indiği yani yaklaşık yüzde 33 oranında bir yol mesafesi iyileştirilmesi yapıldığı gözlemlenmiştir. İlk uygulamada sekiz farklı araç rotası için eğer tüm alanın yangın gözetlemesi için aynı anda taranması isteniyorsa en az sekiz araca ihtiyaç duyulmaktadır. Fiyat olarak kanatlı dronelere göre çok daha ucuz bir araç kullanılmasına rağmen (birim fiyatı \$5000) gerekli olan toplam araç fiyatı \$40000'dır. Üçüncü uygulama için ise \$27000 dolar yetmektedir. Bu durumda başlangıçta pahalı olduğu gözlenen kanatlı dronelerin daha hızlı ve daha düşük maliyetle problemi çözebildiklerini göstermiştir. Karar vericilerin bu özellikleri göz önünde bulundurarak problemi değerlendirmesi gerekmektedir.

Tüm test senaryoları tüm gün çalıştırılıp günlük bir kat edilen mesafe ve araç sayısı incelenmek istendiğinde Şekil 24'deki gibi bir sonuç çıkmıştır.



Şekil 24. Toplam Günlük Mesafe (Km) ve Toplam Araç Sayısı

Tüm test senaryolarının karşılaştırması sonucunu gösteren özet Tablo 11’de gösterilmiştir.

Tablo 10. İkinci Uygulama Test Senaryoları Karşılaştırma Sonuçları

MODEL NO	KARŞILAŞTIRMA SONUCU
M2.1 - M2.2	M2.2 de İHA’nın aldığı toplam yol mesafesi M2.1 ‘e göre %8 iyileşmiştir. Ayrıca alınan seyahat süresinde 0,09 saat artma gözlemlenmiştir. Ayrıca, gerekli olan araç sayısı 8’den 9 a çıkmıştır. Araç maliyeti \$5000 artmıştır. Sonuç olarak seçim yaparken karar vericinin artan araç maliyeti ile seyahat mesafesine harcanan maliyet arasındaki farkı değerlendirmesi gerekmektedir.
M2.1 – M2.3	M2.3 de İHA’nın aldığı toplam yol mesafesi M2.1 ‘e göre %33,6 iyileşmiştir. Fakat tek bir araç ile seyahat edildiği için uçuş süresi 2,39 saat artma gözlemlenmiştir. Araç satın alma maliyetleri incelendiğinde M2.3’de kullanılan aracın \$13000 daha az maliyetli olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, başlangıçta pahalı olduğu gözlenen kanatlı İHA’ların daha hızlı ve daha düşük maliyetle problemi çözebildiklerini göstermiştir. Karar vericilerin bu özellikleri göz önünde bulundurarak problemi değerlendirmesi gerekmektedir.

SONUÇ

İnsansız Hava Araçları hayatımızın birçok alanında kullanım imkânı sağlayan, teknik özelliklerinden dolayı kullanım tercihi olan ve ileride de kullanım alanlarının genişlemesi beklenen bir çalışma alanıdır. Ülkemiz geniş ormanlık bölgelere sahip, dağlık ve terör olaylarının sıkça yaşandığı bir coğrafyadadır. Bu tür coğrafyalarda İHA'ların kullanımı pilot ve ya şoföre sahip olmadıkları için büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple İHA'ların insani operasyonlarda kullanımını hassas planlama çalışmalarına ihtiyaç duymaktadır.

Gezgin Satıcı Problemi ve Araç Rotalama Problemi uzun yıllardır gelişmeye ve ilerlemeye açık bir araştırma alanı olduğu için araştırmacıların ilgisini çeken ve sıkça tercih edilen bir çalışma alanı olmuştur. İHA'ların insani operasyonlarda kullanımını üzerinde birçok çalışma olmasına rağmen araç rotalarının oluşturulması ülkemizde ve dünyada çalışılmaya başlanmış yeni bir alandır. Bu yeni İHA'ların araç rotalarının planlanması alanı gelecekte de yapılacak çalışmalar ile daha geniş çözüm örneklerini hayatımıza sokacaktır.

Bu çalışma ile İHA'ların kullanıldığı ve kullanılması muhtemel alanlara dikkat çekmek istenmiştir. Ülkemiz üzerindeki kullanılabileceği iki uygulama alanı tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen iki örnek uygulama, toplam dokuz test senaryosu ile uygulamanın ele alındığı test durumunun ve kullanılan aracın değiştirilmesinin İHA araç rotalamaları üzerindeki etkisi gösterilmek istenmiştir. Kurulan farklı test senaryoları ile probleme cevap verme süreleri, seyahat süreleri ve seyahat maliyetleri karşılaştırılmıştır. Bu amaçla GSP ve Kapasite Kısıtlı ARP olmak üzere iki farklı matematiksel model kurulmuştur. Ayrıca, temelinde sezgisel yöntemlerden olan Clarke ve Wrigth tasarruf algoritmasını çalıştıran VRP Solver yazılımı ve yine sezgisel çözüm yöntemlerinden biri olan Karınca Kolonisi Algoritması test senaryolarında kullanılmıştır.

Yapılan bu çalışmanın literatüre katkısı, ülkemiz ve dünyada insani operasyonlarda İHA'ların kullanılması konusunda çalışan ve ya çalışmak isteyen araştırmacılara bir örnek yol oluşturmasıdır. Yapılan bu çalışmada ele alınan ülkemiz sorunlarına çözüm geliştirilen uygulamaların detaylandırılarak çalışılabilmesine imkan sağlamaktadır.

Türkiye’de 18.335 köy vardır. Yapılan tıbbi malzemelerin İHA’lar ile taşınması çalışması genişletilmek istendiğinde, tüm Türkiye için merkez iller ve hastaneler seçilerek ülkemiz köylerinden hastanelere otomatik kan numunesi taşınması sistemi kurulabilir. Bu sistemde bir köyde yeterli miktarda tıbbi malzeme olmaması durumunda komşu köy veya ilçeden tıbbi malzeme alınması gibi durumlar da ele alınabilir.

İleride yapılacak çalışmalar ile tüm Türkiye’nin dağlık ulaşılması zor bölgelerine ve dağ köylerine tıbbi malzeme sevkiyatları üzerine ayrıca, tüm Türkiye’nin geniş ormanlık bölgelerinde yangın gözetlemelerinin yapılması üzerine bu tez çalışması konusu genişletilebilir.

KAYNAKÇA

- Alabaş, Ç., & Dengiz, B. (Haziran, 2004). Yerel Arama Yöntemlerinde Yöre Yapısı: Araç Rotalama Problemine Bir Uygulama. *Yöneylem Araştırması Ve Endüstri Mühendisliği XXIV. Ulusal Kongresi*, (s. 333-335). Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Allaoua, H., & Brahim, B. (2015). A Mono Crossover Genetic Algorithm For TSP. *Global Journal on Technology (07)*, 109-115.
- Anonim. (Mayıs, 2010). Unmanned Aircraft Systems: Terminology, Definitions And Classification. *Joint Doctirin Note3/10, United Kingdom Ministry Of Defence*, (s. 21). United Kingdom. Anonim, 2010. Unmanned Aircraft Systems: Terminology, Definitions And Classification, Joint Doctirin Note3/10, United Kingdom Ministry Of Defence, May 2010, 21pp, United Kingdom. . adresinden alındı
- Austin, R. (2010). Unmanned Aircraft Systems UAVS Design. *Development And Deployment, Wiley, Chippenham Wiltshire*. Austin R.. Unmanned Aircraft Systems UAVS Design, Development And Deployment, Wiley, Chippenham, Wiltshire, UK, 2010. adresinden alındı
- Banker, S. (2016). *The Most Interesting Part Of Mercedes' Drone-Equipped Delivery Van Concept Has Nothing To Do With Drones*. 04 2019, 02 tarihinde <https://www.forbes.com/sites/stevebanker/2016/09/08/a-new-mercedes-benz-van-designed-to-facilitate-drone-deliveries/#64e7a1a641b1> adresinden alındı
- Başkaya, Z., & Avcı Öztürk, B. (2005). Tamsayı programlamada dal kesme yöntemi ve bir ekmek fabrikasında oluşturulan araç rotalama problemine uygulanması. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi Cilt XXIV, Sayı 1*, 101-114.
- Bekhti, M., Abdennebi, M., Achir, N., & Boussetta, K. (Mart, 2016). Path Planning Of Unmanned Aerial Vehicles With Terrestrial Wireless Network Tracking.

Wireless days 2016. Toulouse, France. 11 15, 2018 tarihinde [https:// hal-univ-paris13.archives-ouvertes.fr/hal-01415634](https://hal-univ-paris13.archives-ouvertes.fr/hal-01415634) adresinden alındı

- Bertazzi, L., Golden, B. B., & Wang, X. (2015). Min-Max Vs. Min-Sum Vehicle Routing: A Worst-Case Analysis. *European Journal Of Operational Research*, 240(2), 372-381.
- Canis, B. (2015). Unmanned Aircraft Systems (UAS). *Commercial Outlook for New Industry, Congressional Research Service, CRS Report, 7-5700 R44192*.
- Chandler, P., & Patcher, M. (1998). Research Issues in Autonomous Control of Tactical UAVs. (s. 394-398). Pennsylvania: Proceedings of the American Control Conference Philadelphia.
- Chin, W. J., & Sern, V. C. (2009). Unmanned Aerial Vehicles: Development Trends&Technology Forecast. *Military Technology*, 33,2, 70-80.
- Cordeau,, J. F., Gendreau, M., Laporte, G., Potvin, J. Y., & Semet, F. (2007). A Guide To Vehicle Routing Heuristics. *The Journal of The Operational Research Society*, Vol. 53, No. 5, 512-522.
- Crowe, S. (2017). *UPS Delivery Drone Launches From Truck*. 04 15, 2019 tarihinde Http://Www.Roboticstrends.Com/Article/Ups_Delivery_Drone_Launches_From_Truck adresinden alındı
- Çalışkan, K. (2015, 04 24). *İsviçre posta kurumu da drone'larla posta teslimatına başlıyor*. webrazzi.com: <https://webrazzi.com/2015/04/24/isvicre-posta-kurumu-dronela-posta-teslimati/> adresinden alındı
- Çömert, R., Avdan, U., & Şenkal, E. (16-19 Ekim 2012). İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları Ve Gelecekteki Beklentiler. *IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012)*. Zonguldak, Türkiye.
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. B. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Sci.* 6, 80-91.
- Dorigo, M., & Di Caro, G. A. (1999). Ant Algorithms for Discrete Optimization. *Artificial Life*, 5(2):137-172.

- Eisenbeiss, H. (2009). UAV Photogrammetry. *ETH Zurich for the degree of Doctor of Science, ISSN 0252-9335, ISBN: 978-3-906467-86-3.*
- Ekşi, Z., & Çelik, F. (2014). Gezin Satıcı Probleminin Karınca Kolonisi ve Genetik Algoritmalarla Eniyilemesi ve Karşılaştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi*, 18(1), 8-13,.
- Ercan , C., & Gencer, C. (2013). İnsansız Hava Sistemleri Rota Planlaması Dinamik Çözüm Metotları ve Literatür Araştırması. *S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg., c.1, s.2*, 51-72.
- Eryavuz, M. (2001). *Araç Rotalama Problemi ve Örnek Bir Uygulama*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara.
- Flammini, F. P. (2-4 Nov. 2016). Railway İnfrastructure Monitoring By Drones. *2016 International Conference On Electrical Systems For Aircraft, Railway, Ship Propulsion And Road Vehicles & International Transportation Electrification Conference (ESARS-ITEC)*. doi:10.1109/ESARS-ITEC.2016.7841398
- Goraj, Z. (2003). Civilian Unmanned Aerial Vehicles- Overview of Europe Effort and Challenges for the Future. *Aviation Journal, Vilnius VII (1)*, 3-15.
- Haa , Q. M., Devillea, Y., Phamb, O. D., & Hàc, M. (2018). On The Min-Cost Travelling Salesman Problem With Drone. *Transportation Research Part C* 86, 597–621.
- İnce, A. (2019). Gönüllü İtfaiye İstasyonlarına Olan İhtiyacı Belirleyen Faktörler. *TÜYAK 2009 Yangın Ve Güvenlik Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, (s. 2-7). İstanbul.
- İnternet. (2016, 11 1). *İHA ların Kullanım Alanları*. arge7.com: <https://arge7.com/detay2.asp?id=3405> adresinden alındı
- İnternet. (2019, 01 11). *UASUSA Marka Kanatlı Drone Özellikleri*. 2019 tarihinde <https://www.rm.us.com/products/uasusa-tempest-fixed-wing-drone-package-for-ag-and-inspection> adresinden alındı

- Keskintürk, T., Topuk, N, N., & Özyeşil, O. (2015). Araç Rotalama Problemleri ile Çözüm Yöntemlerinin Sınıflandırılması ve Bir Uygulam. *İşletme Bilimi Dergisi Cilt:3 Sayı:2*, 77-107.
- Korkmaz, Y., İyibilgin, O., & Fındık, F. (2016). Geçmişten Günümüze İnsansız Hava Araçlarının Gelişimi. *SAÜ Fen Bil Der 20. Cilt, 2. Sayı.*, 103-109.
- Kumar, S. N., & Panneerselvam, R. A. (2012). Survey on the Vehicle Routing Problem and Its Variants. *Intelligent Information Management*, 4, 66-74.
- Laporte, G. (1992). The Traveling Salesman Problem: An Overview Of Exact And Approximate Algorithms. *European Journal of Operational Research* (59), 231-247.
- Lysgaard, J. (1997). *Clarke & Wright's Savings Algorithm*. Department of Management Science and Logistics, The Aarhus School of Business, Fuglesangs Allé 4, DK-8210 Aarhus V.
- Murray, C. C., & Chu, A. G. (2015). The Flying Sidekick Traveling Salesman Problem: Optimization Of Drone-Assisted Parcel Delivery. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 54, 86-109.
- Nilsson, C. (2003). *Heuristics for the Traveling Salesman Problem*. . Linköping University.
- Odom, E. (2002). Future Employment of Unmanned Aerial Vehicles. *Aerospace Power Journal*. 16,2.
- Olivares, V., Cordova, F., Sepulveda , J. M., & Derpich, I. (2015). Modeling Internal Logistics By Using Drones On The Stage Of Assembly Of Products. *Procedia Computer Science* 55, 1240-1249.
- Oropeza, A., Cruz-Chávez, M., Cruz-Rosal Martín, H., Es, P., Bernal, J., & Abar, C. (2012). Unsupervised Clustering Method For The Capacited Vehicle Routing Problem. *Ninth Electronics, Robotics And Automotive Mechanics Conference*. Mexico.

- Pan, L. (2015). Cutting Plane Method. *The Chinese University of Hong Kong, Operations Research and Logistics Jan. 20*.
- Pulver, A., & Wei, R. (2018). Optimizing The Spatial Location Of Medical Drones. *Applied Geography 90*, 9-16.
- Rabta, B., Wankmüller, C., & Reiner, G. (2018). A Drone Fleet Model For Last-Mile Distribution In Disaster Relief Operations. *International Journal of Disaster Risk Reduction 28*, 107-112.
- Rawat, K. S., & Lawrance, E. E. (2014). A mini-UAV VTOL Platform For Surveying Applications. *International Journal of Robotics and Automation (IJRA), Vol 3, No 4.*, 259-267.
- Santos, L., Coutinho-Rodrigues, J., & Current, J. (2010). An improved ant colony optimization based algorithm for the capacitated arc routing problem,. *Transportation Research Part B: Methodological, 44 (2)*, 246-266.
- Saripalli, S., Montgomery, J. F., & Sukhatme, G. S. (2003). Visually Guided Landing Of An Unmanned Aerial Vehicle. *IEEE Transactions On Robotics And Automation 19(3)*, 371-380.
- Tan, K. C. (2001). A Framework Of Supply Chain Management Literature. *European J. Of Purchasing & Supply Management, 7(1)*, 39-48.
- Tavana, M., Damghani, K. K., Santos-Arteaga, F. J., & Zandi, M. H. (2017). Drone Shipping Versus Truck Delivery In A Cross-Docking System With Multiple Fleets And Products. *Expert Systems With Applications 72*, 93-107.
- Torun, A. (2017). İnsansız Hava Aracı (İHA) Sektöründe Trend: İHA Fotogrametrisi. *AKU J. Sci. Eng.17 Special Issues*, 35-52.
- Toth, P., & Vigo, D. (1997). An Exact Algorithm For The Vehicle Routing Problem With Backhauls. *Transportation Science, 31(4)*, 372-385.
- Toth, P., & Vigo, D. (2002). The Vehicle Routing Problem. *Society For Industrial And Applied Mathematics, SIAM Monographs On Discrete Mathematics And Applications*. Philadelphia.

- Xiang, G., & Tian, L. (2011). Development Of A Low-Cost Agricultural Remote Sensing System Based On An Autonomous Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *Biosystems Engineering* 108(2), 174-190.
- Yang, X., Wang, T., Liang, J., Yao, G., & Liu, M. (2015). Survey On The Novel Hybrid Aquatic–Aerial Amphibious Aircraft: Aquatic Unmanned Aerial Vehicle (Aquauav). *Progress In Aerospace Sciences* 74, 131-151.
- Yüksel, K., İyibilgin, O., & Fındık, F. (2016). Geçmişten Günümüze İnsansız Hava Araçlarının Gelişimi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 20(2), 103-109.
- Zheng, W., Xiang-Pei, H., Yang, C., & Wen-Li, L. (2007). Real Time Modeling Method for Vehicle Routing Problems. International Conference on Harbin, China.
- Zongjian, L. (2008). UAV For Mapping—Low Altitude Photogrammetric Survey. *International Archives Of Photogrammetry And Remote Sensing*. Beijing, China.

EKLER

Ek 1. Orijinallik Raporu



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 27.06.2019

Tez Başlığı : İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINDA ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

Yukarıda başlığı gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 3 sayfalık kısmına ilişkin, 27/06/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda işaretlenmiş filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %3'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

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

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

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

27.06.2019
A. Elmaz

Adı Soyadı: DİLARA AYBALA ELMAS
Öğrenci No: N15223200
Anabilim Dalı: İşletme
Programı: Üretim yönetimi ve sayısal yöntemler

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.


(Prof. Dr. AYDIN ULUCAN)

Ek 2. Etik Komisyon Muafiyeti Formu



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
TEZ ÇALIŞMASI ETİK KOMİSYON MUAFİYETİ FORMU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 27.06.2019

Tez Başlığı: İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINDA ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

Yukarıda başlığı gösterilen tez çalışmam:

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

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

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

27.06.2019

Adı Soyadı: Dilara Aybala ELMAS
Öğrenci No: N15223200
Anabilim Dalı: İşletme
Programı: Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler
Statüsü: Yüksek Lisans Doktora Bütünleşik Doktora

DANIŞMAN GÖRÜŞÜVE ONAYI

(Prof. Dr. Aydın ULUCAN)
Detaylı Bilgi: <http://www.sosyalbilimler.hacettepe.edu.tr>

Telefon: 0-312-2976860

Faks: 0-3122992147

E-posta: sosyalbilimler@hacettepe.edu.tr

Ek 3. Birinci Uygulama Koordinat Bilgileri

	ENLEM	BOYLAM
Alan Köyü	37,299763	44,756107
Altınsu Köyü	37,340421	44,550051
Anadağ Köyü	37,004906	44,306828
Bağlar Köyü	37,287243	44,521290
Beyyurdu Köyü	37,322098	44,428562
Boğazköy Köyü	37,278848	44,576962
Bozyamaç Köyü	37,371586	44,438816
Çatalca Köyü	37,393616	44,575127
Çubuklu Köyü	37,299217	44,467091
Gelişen Köyü	37,116093	44,426083
Günyazı Köyü	37,290283	44,598190
Kayalar Köyü	37,323078	44,671062
Konur Köyü	37,261627	44,342468
Korgan Köyü	37,399113	44,500004
Ortaklar Köyü	37,170803	44,411331
Öveç Köyü	37,371273	44,475731
Tekeli Köyü	37,252094	44,663317
Tütünlü Köyü	37,227220	44,496686
Uğuraçan Köyü	37,255157	44,360516
Yaylapınar Köyü	37,241207	44,425606
Akkaya Köyü	37,347797	43,463184
Cevizli Köyü	37,332352	43,719769
Çığlı Köyü	37,332253	43,379864
Kayalık Köyü	37,342178	43,679241
Narlı Köyü	37,267868	43,589720
Üzümlü Köyü	37,254112	43,528244
Derecik Gelişen(Şapatan Gerdi) Köyü Sağlık Ocağı	37,114202	44,425222
Şemdinli Aile Sağlığı Merkezi	37,303681	44,577153
Şemdinli Devlet Hastanesi	37,305993	44,573137
Derecik(Rubarok) Sağlık Ocağı	37,074711	44,295966
Çukurca Toplum Sağlığı Merkezi	37,246857	43,612401
Çukurca Devlet Hastanesi	37,247132	43,613363

Ek 5. M1.1 Oluşturulan Araç Rotası

BİRİNCİ ROTA	İKİNCİ ROTA	ÜÇÜNCÜ ROTA
Şemdinli Devlet Hastanesi	Şemdinli Devlet Hastanesi	Şemdinli Devlet Hastanesi
Boğazköy köyü	Kayalar Köyü	Tütünlü Köyü
Gelişen Köyü	Alan Köyü	Derecik(Rubarok) Sağlık Ocağı
Derecik Gelişen(Şapatan Gerdi) Köyü Sağlık Ocağı	Tekeli köyü	Anadağ Köyü
Ortaklar Köyü	Günyazı Köyü	Çukurca Devlet Hastanesi
Yaylapınar Köyü	Şemdinli Aile Sağlığı Merkezi	Narlı Köyü
Beyyurdu Köyü	Altınsu Köyü	Üzümlü Köyü
Bozyamaç Köyü	Şemdinli Devlet Hastanesi	Çığlı Köyü
Öveç Köyü		Akkaya Köyü
Korgan Köyü		Kayalık Köyü
Çatalca Köyü		Cevizli Köyü
Şemdinli Devlet Hastanesi		Konur Köyü
		Uğuraçan Köyü
		Çubuklu Köyü
		Bağlar Köyü
		Şemdinli Devlet Hastanesi

Ek 6. M1.2 Oluşturulan Araç Rotası

BİRİNCİ ROTA	İKİNCİ ROTA	ÜÇÜNCÜ ROTA
Şemdinli Devlet Hastanesi	Şemdinli Devlet Hastanesi	Çukurca Devlet Hastanesi
Bağlar Köyü	Şemdinli Aile Sağlığı Merkezi	Derecik(Rubarok) Sağlık Ocağı
Çubuklu Köyü	Boğazköy köyü	Cevizli Köyü
Beyyurdu Köyü	Tütünlü Köyü	Kayalık Köyü
Bozyamaç Köyü	Ortaklar Köyü	Akkaya Köyü
Öveç Köyü	Gelişen Köyü	Çığlı Köyü
Korgan Köyü	Derecik Gelişen(Şapatan Gerdi) Köyü Sağlık Ocağı	Üzümlü Köyü
Çatalca Köyü	Anadağ Köyü	Narlı Köyü
Kayalar Köyü	Konur Köyü	Çukurca Devlet Hastanesi
Alan Köyü	Uğuraçan Köyü	
Tekeli köyü	Yaylapınar Köyü	
Günyazı Köyü	Şemdinli Devlet Hastanesi	
Altınsu Köyü		
Şemdinli Devlet Hastanesi		

Ek 7. M1.3 Oluşturulan Araç Rotası**GSP ROTASI**

şemdinli Devlet Hastanesi
şemdinli Aile Sağlığı Merkezi
Altınsu Köyü
Boğazköy köyü
Günyazı Köyü
Tekeli köyü
Alan Köyü
Kayalar Köyü
Çatalca Köyü
Korgan Köyü
veç Köyü
Bozyamaç Köyü
Beyyurdu Köyü
Çubuklu Köyü
Yaylapınar Köyü
Uğuraçan Köyü
Konur Köyü
Cevizli Köyü
Kayalık Köyü
Akkaya Köyü
Çığlı Köyü
zml Köyü
Narlı Köyü
Çukurca Devlet Hastanesi
Derecik(Rubarok) Sağlık Ocağı
Anadağ Köyü
Derecik Gelişen(şapatan Gerdi) Köyü Sağlık
Ocağı
Gelişen Köyü
Ortaklar Köyü
Ttn Köyü
Bağlar Köyü
şemdinli Devlet Hastanesi

Ek 8. M1.4 Oluşturulan Araç Oluşturulan Uygun Çözüm Rotası

BİRİNCİ ROTA	İKİNCİ ROTA	ÜÇÜNCÜ ROTA
Şemdinli Devlet Hastanesi	Şemdinli Devlet Hastanesi	Şemdinli Devlet Hastanesi
Altınsu Köyü	Boğazköy köyü	Bağlar Köyü
Şemdinli Aile Sağlığı Merkezi	Gelişen Köyü	Çubuklu Köyü
Günyazı Köyü	Derecik Gelişen(Şapatan Gerdi) Köyü Sağlık Ocağı	Uğuraçan Köyü
Tekeli köyü	Ortaklar Köyü	Konur Köyü
Alan Köyü	Yaylapınar Köyü	Cevizli Köyü
Kayalar Köyü	Beyyurdu Köyü	Kayalık Köyü
Şemdinli Devlet Hastanesi	Bozyamaç Köyü	Akkaya Köyü
	Öveç Köyü	Çığlı Köyü
	Korgan Köyü	Üzümlü Köyü
	Çatalca Köyü	Narlı Köyü
	Şemdinli Devlet Hastanesi	Çukurca Devlet Hastanesi
		Anadağ Köyü
		Derecik(Rubarok) Sağlık Ocağı
		Tütünlü Köyü
		Şemdinli Devlet Hastanesi

Ek 9. M1.5 Oluşturulan Araç Rotası

KAMYON ROTASI

şemdinli Devlet Hastanesi
Bağlar Köyü
Yaylapınar Köyü
Derecik Gelişen(şapatan Gerdi)
Köyü Sağlık Ocağı
Gelişen Köyü
Derecik(Rubarok) Sağlık Ocağı
Anadağ Köyü
Ortaklar Köyü
Tütünlü Köyü
Boğazköy köyü
Çubuklu Köyü
Uğuraçan Köyü
Konur Köyü
Beyyurdu Köyü
Bozyamaç Köyü
Öveç Köyü
Altınsu Köyü
şemdinli Aile Sağlığı Merkezi
Cevizli Köyü
Kayalık Köyü
Çukurca Devlet Hastanesi
Narlı Köyü
Üzümlü Köyü
Çığlı Köyü
Akkaya Köyü
Korgan Köyü
Çatalca Köyü
Kayalar Köyü
Alan Köyü
Tekeli köyü
Günyazı Köyü
şemdinli Devlet Hastanesi

Ek 10. M1.6 Oluşturulan Araç Rotası

KARINCA KOLONİSİ ALGORİTMASI ROTASI

Şemdinli Devlet Hastanesi
Altınsu Köyü
Şemdinli Aile Sağlığı Merkezi
Boğazköy köyü
Günyazı Köyü
Tekeli köyü
Alan Köyü
Kayalar Köyü
Çatalca Köyü
Korgan Köyü
Öveç Köyü
Bozyamaç Köyü
Beyyurdu Köyü
Çubuklu Köyü
Bağlar Köyü
Tütünlü Köyü
Yaylapınar Köyü
Ortaklar Köyü
Derecik Gelişen(Şapatan Gerdi) Köyü Sağlık
Ocağı
Gelişen Köyü
Derecik(Rubarok) Sağlık Ocağı
Anadağ Köyü
Çukurca Devlet Hastanesi
Narlı Köyü
Üzümlü Köyü
Akkaya Köyü
Çığlı Köyü
Kayalık Köyü
Cevizli Köyü
Konur Köyü
Uğuraçan Köyü
Şemdinli Devlet Hastanesi

Ek 11. Birinci Uygulama Test Senaryolarının u_i Değişkeni

KÖY ADI	Birinci Senaryo u_i Değişkeni	İkinci Senaryo u_i Değişkeni	Üçüncü Senaryo u_i Değişkeni	Beşinci Senaryo u_i Değişkeni
Alan Köyü	14	50	0	219
Altınsu Köyü	70	96	29	131
Anadağ Köyü	36	80	21	65
Bağlar Köyü	96	4	26	4
Beyyurdu Köyü	51	8	6	107
Boğazköy köyü	6	16	30	89
Bozyamaç Köyü	53	10	5	109
Çatalca Köyü	79	36	2	205
Çubuklu Köyü	92	6	7	91
Gelişen Köyü	24	52	23	37
Günyazı Köyü	40	76	31	245
Kayalar Köyü	10	46	1	215
Konur Köyü	86	90	10	105
Korgan Köyü	75	32	3	201
Ortaklar Köyü	44	34	24	75
Öveç Köyü	55	12	4	111
Tekeli köyü	26	62	32	231
Tütünlü Köyü	8	24	25	83
Uğuraçan Köyü	90	94	9	95
Yaylapınar Köyü	49	99	8	9
Akkaya Köyü	72	62	13	181
Cevizli Köyü	76	0	11	143
Çığlı Köyü	68	10	14	177
Kayalık Köyü	74	18	12	145
Narlı Köyü	48	12	16	157
Üzümlü Köyü	56	30	15	165
Derecik Gelişen (Şapatan Gerdi) Köyü	34	14	22	19
Sağlık Ocağı Şemdinli Aile Sağlığı Merkezi	50	40	28	141
Şemdinli Devlet Hastanesi	0	38	27	0
Derecik (Rubarok) Sağlık Ocağı	18	0	20	47
Çukurca Devlet Hastanesi	46	10	17	155

Ek 12. M1.4 Yazılım Girdisi

	ENLEM	BOYLAM	TALEP
Şemdinli Devlet Hastanesi	37.305993	44.573137	0
Alan Köyü	37,299763	44,756107	4
Altınsu Köyü	37,303440	44,576962	20
Anadağ Köyü	37,004906	44,306828	18
Bağlar Köyü	37,287243	44,521290	4
Beyyurdu Köyü	37,322098	44,428562	2
Boğazköy köyü	37,278848	44,576962	6
Bozyamaç Köyü	37,371586	44,438816	2
Çatalca Köyü	37,393616	44,575127	4
Çubuklu Köyü	37,299217	44,467091	2
Gelişen Köyü	37,116093	44,426083	18
Günyazı Köyü	37,290283	44,598190	14
Kayalar Köyü	37,323078	44,671062	10
Konur Köyü	37,261627	44,342468	10
Korgan Köyü	37,399113	44,500004	20
Ortaklar Köyü	37,170803	44,411331	10
Öveç Köyü	37,371273	44,475731	2
Tekeli köyü	37,252094	44,663317	12
Tütünlü Köyü	37,227220	44,496686	8
Uğuraçan Köyü	37,255157	44,360516	4
Yaylapınar Köyü	37,241207	44,425606	5
Akkaya Köyü	37,347797	43,463184	4
Cevizli Köyü	37,332352	43,719769	2
Çığlı Köyü	37,332253	43,379864	12
Kayalık Köyü	37,342178	43,679241	2
Narlı Köyü	37,267868	43,589720	2
Üzümlü Köyü	37,254112	43,528244	8
Derecik Gelişen(Şapatan Gerdi) Köyü Sağlık Ocağı	37,114202	44,425222	10
Şemdinli Aile Sağlığı Merkezi	37,303681	44,577153	10
Derecik(Rubarok) Sağlık Ocağı	37,074711	44,295966	10
Çukurca Devlet Hastanesi	37,247132	43,613363	10

Ek 13. Euclidean Uzaklıklar

Distances

Distance Preferences:
 Euclidean Great Circle Round Distances to Nearest Integer
 Load From File: Browse...
 Generate Distances
 Save Distances

Distance matrix reflects current settings.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0,00	0,18	0,00	0,40	0,06	0,15	0,03	0,15	0,09	0,11	0,24	0,03	0,10	0,23	0,12	0,21	0,12	0,11	0,11	0,22
2	0,18	0,00	0,18	0,54	0,24	0,33	0,18	0,33	0,20	0,29	0,38	0,16	0,09	0,42	0,27	0,37	0,29	0,10	0,27	0,40
3	0,00	0,18	0,00	0,40	0,06	0,15	0,02	0,15	0,09	0,11	0,24	0,02	0,10	0,24	0,12	0,21	0,12	0,10	0,11	0,22
4	0,40	0,54	0,40	0,00	0,35	0,34	0,38	0,39	0,47	0,34	0,16	0,41	0,48	0,26	0,44	0,20	0,40	0,43	0,29	0,26
5	0,06	0,24	0,06	0,35	0,00	0,10	0,06	0,12	0,12	0,06	0,20	0,08	0,15	0,18	0,11	0,16	0,10	0,15	0,06	0,16
6	0,15	0,33	0,15	0,34	0,10	0,00	0,15	0,05	0,16	0,04	0,21	0,17	0,24	0,11	0,11	0,15	0,07	0,24	0,12	0,10
7	0,03	0,18	0,02	0,38	0,06	0,15	0,00	0,17	0,11	0,11	0,22	0,02	0,10	0,24	0,14	0,20	0,14	0,09	0,10	0,22
8	0,15	0,33	0,15	0,39	0,12	0,05	0,17	0,00	0,14	0,08	0,26	0,18	0,24	0,15	0,07	0,20	0,04	0,25	0,16	0,14
9	0,09	0,20	0,09	0,47	0,12	0,16	0,11	0,14	0,00	0,14	0,32	0,11	0,12	0,27	0,08	0,28	0,10	0,17	0,18	0,26
10	0,11	0,29	0,11	0,34	0,06	0,04	0,11	0,08	0,14	0,00	0,19	0,13	0,21	0,13	0,11	0,14	0,07	0,20	0,08	0,12
11	0,24	0,38	0,24	0,16	0,20	0,21	0,22	0,26	0,32	0,19	0,00	0,24	0,32	0,17	0,29	0,06	0,26	0,27	0,13	0,15
12	0,03	0,16	0,02	0,41	0,08	0,17	0,02	0,18	0,11	0,13	0,24	0,00	0,08	0,26	0,15	0,22	0,15	0,08	0,12	0,24
13	0,10	0,09	0,10	0,48	0,15	0,24	0,10	0,24	0,12	0,21	0,32	0,08	0,00	0,33	0,19	0,30	0,20	0,07	0,20	0,32
14	0,23	0,42	0,24	0,26	0,18	0,11	0,24	0,15	0,27	0,13	0,17	0,26	0,33	0,00	0,21	0,11	0,17	0,32	0,16	0,02
15	0,12	0,27	0,12	0,44	0,11	0,11	0,14	0,07	0,08	0,11	0,29	0,15	0,19	0,21	0,00	0,24	0,04	0,22	0,17	0,20
16	0,21	0,37	0,21	0,20	0,16	0,15	0,20	0,20	0,28	0,14	0,06	0,22	0,30	0,11	0,24	0,00	0,21	0,26	0,10	0,10
17	0,12	0,29	0,12	0,40	0,10	0,07	0,14	0,04	0,10	0,07	0,26	0,15	0,20	0,17	0,04	0,21	0,00	0,22	0,15	0,16
18	0,11	0,10	0,10	0,43	0,15	0,24	0,09	0,25	0,17	0,20	0,27	0,08	0,07	0,32	0,22	0,26	0,22	0,00	0,17	0,30
19	0,11	0,27	0,11	0,29	0,06	0,12	0,10	0,16	0,18	0,08	0,13	0,12	0,20	0,16	0,17	0,10	0,15	0,17	0,00	0,14
20	0,22	0,40	0,22	0,26	0,16	0,10	0,22	0,14	0,26	0,12	0,15	0,24	0,32	0,02	0,20	0,10	0,16	0,30	0,14	0,00
21	0,16	0,34	0,16	0,26	0,11	0,08	0,16	0,13	0,21	0,07	0,13	0,18	0,26	0,09	0,17	0,07	0,14	0,24	0,07	0,07
22	1,11	1,29	1,11	0,91	1,06	0,97	1,12	0,98	1,11	1,01	0,99	1,14	1,21	0,88	1,04	0,96	1,01	1,20	1,04	0,90
23	0,85	1,04	0,86	0,67	0,80	0,71	0,86	0,72	0,86	0,75	0,74	0,88	0,95	0,63	0,78	0,71	0,76	0,95	0,78	0,65
24	1,19	1,38	1,20	0,98	1,14	1,05	1,20	1,06	1,20	1,09	1,07	1,22	1,29	0,97	1,12	1,04	1,10	1,29	1,12	0,98
25	0,89	1,08	0,90	0,71	0,84	0,75	0,90	0,76	0,90	0,79	0,78	0,92	0,99	0,67	0,82	0,75	0,80	0,99	0,83	0,69
26	0,98	1,17	0,99	0,76	0,93	0,84	0,99	0,86	0,99	0,88	0,85	1,01	1,08	0,75	0,92	0,83	0,89	1,07	0,91	0,77
27	1,05	1,23	1,05	0,82	0,99	0,90	1,05	0,92	1,06	0,94	0,91	1,07	1,14	0,81	0,98	0,89	0,95	1,14	0,97	0,83
28	0,24	0,38	0,24	0,16	0,20	0,21	0,22	0,26	0,32	0,19	0,00	0,25	0,32	0,17	0,29	0,06	0,26	0,28	0,13	0,16
29	0,00	0,18	0,00	0,40	0,06	0,15	0,02	0,15	0,09	0,11	0,24	0,02	0,10	0,24	0,12	0,21	0,12	0,10	0,11	0,22
30	0,36	0,51	0,36	0,07	0,31	0,28	0,35	0,33	0,42	0,28	0,14	0,37	0,45	0,19	0,38	0,15	0,35	0,41	0,25	0,19

Ek 14. İkinci Uygulama Test Senaryoları Girdisi

Numara	Enlem	Boylam
1	36,876121	28,568348
2	36,869017	28,573084
3	36,872501	28,558056
4	36,86644	28,562123
5	36,864245	28,566689
6	36,873949	28,547041
7	36,866277	28,550879
8	36,860229	28,556722
9	36,875447	28,539456
10	36,866316	28,539543
11	36,863216	28,542275
12	36,854717	28,545879
13	36,843516	28,545335
14	36,833479	28,543469
15	36,824782	28,546141
16	36,815861	28,546605
17	36,792862	28,533314
18	36,810756	28,533024
19	36,818411	28,532283
20	36,827404	28,532224
21	36,836476	28,531731
22	36,845388	28,531458
23	36,854375	28,531155
24	36,863169	28,530983
25	36,872213	28,530914
26	36,8812	28,530794
27	36,901053	28,521191
28	36,892043	28,521389
29	36,882962	28,521538
30	36,873836	28,521734
31	36,864748	28,521745
32	36,855651	28,521636
33	36,846734	28,521686
34	36,837661	28,521632
35	36,828715	28,521628
36	36,819728	28,521681
37	36,810707	28,521773
38	36,801852	28,521905
39	36,792844	28,522029
40	36,802113	28,512141
41	36,811134	28,511934
42	36,820088	28,511599

Numara	Enlem	Boylam
43	36,829106	28,511342
44	36,838044	28,511115
45	36,847094	28,510890
46	36,856061	28,510573
47	36,865041	28,510421
48	36,874057	28,510274
49	36,883058	28,510019
50	36,892096	28,509857
51	36,901046	28,509869
52	36,7932	28,501113
53	36,802215	28,500896
54	36,811288	28,501020
55	36,820219	28,500781
56	36,829226	28,500734
57	36,838198	28,500724
58	36,847229	28,500643
59	36,856215	28,500718
60	36,865241	28,500647
61	36,87422	28,500598
62	36,88319	28,500532
63	36,892242	28,500500
64	36,901148	28,500376
65	36,910158	28,500262
66	36,910182	28,488917
67	36,901276	28,489051
68	36,892287	28,489076
69	36,883354	28,489171
70	36,874377	28,489226
71	36,865356	28,489503
72	36,856309	28,489602
73	36,847415	28,489891
74	36,83837	28,489993
75	36,829399	28,490239
76	36,820493	28,490514
77	36,820281	28,479096
78	36,829406	28,479003
79	36,838388	28,478937
80	36,847367	28,478849
81	36,856319	28,478861
82	36,865339	28,478886
83	36,874368	28,478905
84	36,883386	28,478906
85	36,892432	28,478790
86	36,901348	28,478676
87	36,910368	28,478744

Numara	Enlem	Boylam
88	36,919322	28,478806
89	36,928344	28,478818
90	36,926248	28,468364
91	36,917274	28,468329
92	36,908284	28,468340
93	36,899341	28,468399
94	36,890298	28,468436
95	36,881279	28,468356
96	36,872298	28,468231
97	36,863402	28,468147
98	36,854279	28,468033
99	36,845273	28,467996
100	36,836266	28,467971
101	36,827366	28,467980
102	36,81827	28,468003
103	36,814131	28,467956
104	36,820185	28,457113
105	36,829098	28,457395
106	36,838107	28,457472
107	36,869324	28,457888
108	36,878352	28,457956
109	36,887218	28,458032
110	36,896259	28,458030
111	36,905511	28,457965
112	36,91446	28,458200
113	36,923416	28,458278
114	36,932411	28,458421
115	36,932417	28,447120
116	36,923435	28,447030
117	36,914447	28,447018
118	36,905501	28,446990
119	36,896473	28,446853
120	36,887465	28,446858
121	36,932383	28,435347
122	36,923398	28,435424
123	36,914507	28,435364
124	36,905409	28,435435
125	36,896458	28,435459
126	36,887358	28,435575
127	36,87843	28,435746
128	36,869454	28,435735
129	36,860502	28,424440
130	36,869479	28,424408
131	36,87858	28,424306
132	36,88748	28,424323

Numara	Enlem	Boylam
133	36,896455	28,424318
134	36,905535	28,424272
135	36,914464	28,424247
136	36,923421	28,424224
137	36,932238	28,424128
138	36,923268	28,414103
139	36,914318	28,414097
140	36,905313	28,413913
141	36,89632	28,413766
142	36,887875	28,413510
143	36,878381	28,413378
144	36,869371	28,413228
145	36,860362	28,413193
146	36,835369	28,413399
147	36,826344	28,413536
148	36,817354	28,413639
149	36,808416	28,413491
150	36,790519	28,402432
151	36,799454	28,402402
152	36,808465	28,402273
153	36,817525	28,402217
154	36,826421	28,402264
155	36,835471	28,402152
156	36,869385	28,403533
157	36,878427	28,403419
158	36,887377	28,403258
159	36,896415	28,403166
160	36,905348	28,403006
161	36,914354	28,402955
162	36,923272	28,402831
163	36,932273	28,402755
164	36,923158	28,391514
165	36,914334	28,391629
166	36,905245	28,391573
167	36,896228	28,391836
168	36,889753	28,392089
169	36,880662	28,392165
170	36,871675	28,392239
171	36,862744	28,392323
172	36,853362	28,392357
173	36,808416	28,391018
174	36,799497	28,391030
175	36,79053	28,391130
176	36,799477	28,379753
177	36,808469	28,379757

Numara	Enlem	Boylam
178	36,817548	28,379842
179	36,826517	28,379771
180	36,835517	28,379792
181	36,853307	28,378572
182	36,86239	28,378560
183	36,871337	28,378604
184	36,880312	28,378691
185	36,889297	28,378715
186	36,898414	28,378788
187	36,907431	28,378850
188	36,916366	28,378845
189	36,925382	28,379001
190	36,934333	28,378904
191	36,934376	28,367693
192	36,925342	28,367747
193	36,91636	28,367713
194	36,907349	28,367771
195	36,898334	28,367780
196	36,88937	28,367934
197	36,880372	28,368031
198	36,871425	28,368188
199	36,862416	28,368282
200	36,853507	28,368304
201	36,844509	28,368421
202	36,835554	28,368388
203	36,826577	28,368504
204	36,817577	28,368685
205	36,808554	28,368634
206	36,799562	28,368565
207	36,808557	28,357752
208	36,817519	28,357646
209	36,826495	28,357612
210	36,835564	28,357336
211	36,844499	28,357241
212	36,853528	28,357221
213	36,862527	28,357158
214	36,871557	28,357184
215	36,880594	28,357132
216	36,889708	28,356985
217	36,898503	28,357042
218	36,907523	28,356993
219	36,916521	28,356862
220	36,925445	28,356927
221	36,925479	28,345662
222	36,916373	28,345625

Numara	Enlem	Boylam
223	36,907448	28,345587
224	36,898467	28,345589
225	36,889418	28,345564
226	36,880434	28,345589
227	36,871506	28,345647
228	36,862477	28,345574
229	36,85344	28,345572
230	36,844493	28,345598
231	36,835461	28,345617
232	36,826506	28,345528
233	36,817512	28,345531
234	36,808431	28,345585
235	36,809156	28,336198
236	36,817524	28,336022
237	36,826503	28,335964
238	36,835539	28,335903
239	36,844508	28,335829
240	36,853508	28,335640
241	36,862517	28,335441
242	36,871489	28,335298
243	36,880437	28,335207
244	36,889396	28,334932
245	36,898396	28,334965
246	36,907429	28,334669
247	36,91638	28,334373
248	36,826699	28,336156
249	36,916586	28,324985
250	36,907618	28,324938
251	36,898574	28,324779
252	36,889567	28,324926
253	36,880617	28,324530
254	36,871596	28,324549
255	36,862595	28,324438
256	36,853609	28,324415
257	36,844612	28,324400
258	36,83564	28,324283
259	36,826682	28,324409
260	36,817734	28,324239
261	36,835655	28,313063
262	36,844615	28,313047
263	36,853624	28,313018
264	36,862649	28,313069
265	36,871616	28,313191
266	36,880662	28,313223
267	36,88968	28,313324

Numara	Enlem	Boylam
268	36,898355	28,313426
269	36,890321	28,301817
270	36,881344	28,301955
271	36,872342	28,302014
272	36,863365	28,301907
273	36,854343	28,301914
274	36,845396	28,301944
275	36,836374	28,301994

Ek 15. Yazılım Sonucu

1. alt alan			2. alt alan			3. alt alan		
ROUTE 1 =====			ROUTE 1 =====			ROUTE 1 =====		
Stop	Weight	Distance	Stop	Weight	Distance	Stop	Weight	Distance

1	0	0,01	1	0	0,01	1	0	0,01
33	1	0,01	44	1	0,03	54	1	0,01
34	1	0,01	47	1	0,01	38	1	0,01
24	1	0,01	48	1	0,01	26	1	0,01
23	1	0,01	33	1	0,01	7	1	0,01
22	1	0,01	34	1	0,01	8	1	0,01
21	1	0,01	28	1	0,01	9	1	0,01
20	1	0,01	27	1	0,01	10	1	0,01
19	1	0,01	26	1	0,01	11	1	0,01
17	1	0,01	25	1	0,01	12	1	0,01
16	1	0,01	2	1	0,01	13	1	0,01
15	1	0,01	3	1	0,01	20	1	0,01
14	1	0,01	4	1	0,01	19	1	0,01
13	1	0,01	5	1	0,01	14	1	0,01
9	1	0,01	6	1	0,01	15	1	0,01
5	1	0,01	7	1	0,01	16	1	0,01
6	1	0,01	8	1	0,01	17	1	0,01
3	1	0,01	9	1	0,01	18	1	0,01
2	1	0,01	10	1	0,01	46	1	0,01
4	1	0,01	11	1	0,01	45	1	0,01
8	1	0,01	12	1	0,01	47	1	0,01
12	1	0,00	13	1	0,01	48	1	0,01
11	1	0,01	14	1	0,00	72	1	0,01
7	1	0,01	15	1	0,01	74	1	0,01
10	1	0,01	16	1	0,01	75	1	0,01
27	1	0,01	17	1	0,01	71	1	0,01
26	1	0,01	18	1	0,03	49	1	0,01
25	1	0,01	19	1	0,01	44	1	0,01
32	1	0,01	20	1	0,01	43	1	0,01

Total:	28,00	0,28	21	1	0,01	21	1	0,01
ROUTE 2 =====			22	1	0,01	22	1	0,01
Stop	Weight	Distance	23	1	0,01	23	1	0,01

1	0	0,01	24	1	0,01	24	1	0,01
58	1	0,01	29	1	0,01	25	1	0,01
57	1	0,01	30	1	0,01	39	1	0,01
56	1	0,01	31	1	0,01	-----		
75	1	0,01	32	1	0,02	Total:	34,00	0,35
74	1	0,01	Total: 36,00 0,40			ROUTE 2 =====		
ROUTE 2 =====			ROUTE 2 =====			ROUTE 2 =====		
Stop	Weight	Distance	Stop	Weight	Distance	Stop	Weight	Distance

1. alt alan			2. alt alan			3. alt alan		
73	1	0,01	Stop	Weight	Distance	1	0	0,01
72	1	0,01				40	1	0,01
71	1	0,01				41	1	0,01
70	1	0,01	1	0	0,01	42	1	0,01
83	1	0,01	53	1	0,01	51	1	0,01
82	1	0,01	52	1	0,01	50	1	0,01
81	1	0,01	51	1	0,01	70	1	0,01
80	1	0,01	45	1	0,01	76	1	0,01
79	1	0,01	46	1	0,01	93	1	0,01
78	1	0,01	35	1	0,01	92	1	0,01
77	1	0,01	36	1	0,01	94	1	0,01
76	1	0,01	37	1	0,01	95	1	0,01
55	1	0,01	38	1	0,01	96	1	0,01
54	1	0,01	39	1	0,01	97	1	0,01
53	1	0,01	40	1	0,01	98	1	0,01
52	1	0,01	42	1	0,01	99	1	0,01
41	1	0,01	41	1	0,01	100	1	0,01
40	1	0,01	56	1	0,01	86	1	0,01
18	1	0,01	55	1	0,01	87	1	0,01
39	1	0,01	67	1	0,01	88	1	0,01
38	1	0,01	68	1	0,01	89	1	0,01
37	1	0,01	69	1	0,01	90	1	0,01
42	1	0,01	54	1	0,01	91	1	0,01
43	1	0,01	43	1	0,01	79	1	0,01
44	1	0,01				78	1	0,01
36	1	0,01	Total: 20,00	0,21		77	1	0,01
35	1	0,01				69	1	0,01
45	1	0,01	ROUTE 3			68	1	0,01
46	1	0,01	=====			52	1	0,01
			Stop	Weight	Distance	53	1	0,01
Total: 34,00	0,35							
			1	0	0,02	Total: 29,00	0,30	
ROUTE 3			70	1	0,01			
=====			71	1	0,01	ROUTE 3		
Stop	Weight	Distance	77	1	0,01	=====		
			78	1	0,01	Stop	Weight	Distance
1	0	0,01	79	1	0,01			
47	1	0,01	80	1	0,01	1	0	0,01
48	1	0,01	81	1	0,01	66	1	0,01
31	1	0,01	82	1	0,01	67	1	0,01
30	1	0,01	83	1	0,02	80	1	0,01
29	1	0,01	66	1	0,01	81	1	0,01
28	1	0,01	65	1	0,01	82	1	0,01
51	1	0,01	57	1	0,01	83	1	0,01
64	1	0,01	58	1	0,01	63	1	0,01
65	1	0,01	59	1	0,01	73	1	0,00
66	1	0,02	60	1	0,01	62	1	0,01
89	1	0,01	64	1	0,01	84	1	0,01
88	1	0,01	63	1	0,01	85	1	0,01
87	1	0,01	62	1	0,01	61	1	0,01
86	1	0,01	61	1	0,01	60	1	0,01
			86	1	0,01			

1. alt alan	2. alt alan	3. alt alan
<pre> 67 1 0,01 68 1 0,01 85 1 0,01 84 1 0,01 69 1 0,01 63 1 0,01 50 1 0,01 49 1 0,01 62 1 0,01 61 1 0,01 60 1 0,01 59 1 0,01 ----- Total: 26,00 0,27 Total Time: 0,72 Build Time: 0,02 Improve Time: 0,70 Or-Opt Time: 0,22 Num Or-Opt [3]: 26 Num Or-Opt [2]: 25 Num Or-Opt [1]: 4 Num 2-Opt: 4 Num Swap: 16 </pre>	<pre> 85 1 0,01 84 1 0,09 93 1 0,01 92 1 0,01 91 1 0,01 90 1 0,01 89 1 0,01 88 1 0,01 87 1 0,09 76 1 0,01 75 1 0,01 74 1 0,01 73 1 0,01 72 1 0,01 49 1 0,01 50 1 0,03 ----- Total: 36,00 0,57 Total Time: 0,75 Build Time: 0,03 Improve Time: 0,72 Or-Opt Time: 0,14 Num Or-Opt [3]: 40 Num Or-Opt [2]: 35 Num Or-Opt [1]: 0 Num 2-Opt: 4 Num Swap: 8 </pre>	<pre> 59 1 0,01 33 1 0,01 31 1 0,01 32 1 0,01 2 1 0,01 3 1 0,01 4 1 0,01 5 1 0,01 6 1 0,01 29 1 0,01 30 1 0,01 34 1 0,01 58 1 0,01 57 1 0,01 35 1 0,01 28 1 0,01 27 1 0,01 37 1 0,01 36 1 0,01 56 1 0,01 55 1 0,01 64 1 0,01 65 1 0,01 ----- Total: 36,00 0,37 Total Time: 0,84 Build Time: 0,05 Improve Time: 0,79 Or-Opt Time: 0,25 Num Or-Opt [3]: 33 Num Or-Opt [2]: 34 Num Or-Opt [1]: 2 Num 2-Opt: 2 Num Swap: 14 </pre>
<p style="text-align: center;"> Total distance: 0,90 Number of routes: 3 Solution times: 0,72 </p>	<p style="text-align: center;"> Total distance: 1,17 Number of routes: 3 Solution time: 0,75 </p>	<p style="text-align: center;"> Total distance: 1,02 Number of routes: 3 Solution time: 0,84 sec </p>

