



Acil Yardım Dağıtımında İnsansız Hava Araçlarının Etkin Rotalanması

Efficient Routing for Unmanned Aerial Vehicles in Emergency Aid Distribution

Feridun Pözüt¹ , Samet Şahbazlar¹ , Enes Buğra Acar¹ , Yeşim Aygül² , Onur Uğurlu²

¹İzmir Bakırçay Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

²İzmir Bakırçay Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Öz

Zorlu coğrafi koşullar ve yıkılmış altyapılar nedeniyle erişimin zor olduğu durumlarda İnsansız Hava Araçlarının (İHA) kullanımı, afet yönetimi ve acil müdahale süreçlerinde kritik bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, doğal afetler gibi acil durumlar sonrasında İHA'lar ile yardım malzemesi dağıtımını optimize etmek amacıyla bir Araç Rotalama Problemi (ARP) ele alınmıştır. Bu problemin çözümü için k-means kümeleme algoritması ile ziyaret noktalarını gruplara ayırma ve her bir grup için En Yakın Komşu (Nearest Neighbor – NN) algoritması ile en kısa rotaları belirleme yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada, öncelikle çalışılan ARP'nin temel kısıtları tanımlanmış, ardından, k-means ve NN algoritmalarının nasıl entegre edildiği açıklanmıştır. Önerilen algoritma, belirli kısıtlar altında (araç kapasitesi ve kat edilen maksimum mesafe gibi) çalışacak şekilde tasarlanmış ve gerçek dünya verileri kullanılarak Gaziantep ilindeki acil toplanma alanları üzerinde test edilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar, Gaziantep ilindeki 34 acil toplanma alanına yardım paketlerinin 6 İHA ile 20 dakikadan az bir süre içinde ulaştırılabileceğini göstermektedir. Bu çalışma, İHA kullanımının zorlu ve acil durumlar için lojistik destek sağlama konusunda ne kadar etkili ve verimli olabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: En yakın komşu algoritması, insansız hava araçları, k-means algoritması, rotalama problemleri.

Abstract

The use of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in situations where access is difficult due to challenging geographical conditions and destroyed infrastructure has emerged as a critical solution in disaster management and emergency response processes. This study addresses a Vehicle Routing Problem (VRP) to optimize the distribution of relief supplies via UAV following emergencies such as natural disasters. To solve this problem, k-means clustering was employed to group the delivery points, and the Nearest Neighbor (Nearest Neighbor – NN) algorithm was used to determine the shortest routes for each group. The study first introduces the basic constraints of the targeted VRP and then explains how the k-means and NN algorithms were integrated. The proposed algorithm is designed to operate under certain constraints, such as vehicle capacity and maximum distance traveled, and was tested using real-world data on emergency assembly points in the Gaziantep province. The experimental results indicate that relief packages can be delivered to 34 emergency assembly points in Gaziantep within less than 20 minutes using 6 UAV. This study demonstrates the effectiveness and efficiency of UAV usage in providing logistical support in challenging and urgent situations.

Keywords: Nearest neighbor algorithm, unmanned aerial vehicles, k-means algorithm, routing problems.

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: onur.ugurlu@bakircay.edu.tr

Feridun Pözüt orcid.org/0009-0007-1421-9344

Samet Şahbazlar orcid.org/0009-0001-9905-6463

Enes Buğra Acar orcid.org/0000-0002-4145-7950

Yeşim Aygül orcid.org/0000-0003-0605-9604

Onur Uğurlu orcid.org/0000-0003-2743-5939



1. Giriş

Doğal afetler, insan hayatını ve toplumların yapılarını derinden etkileyen olaylardır. Depremler, seller, kasırgalar ve yangınlar gibi afetler, kısa sürede geniş alanlarda ciddi zararlara neden olabilir. Bu tür durumlarda hızlı ve etkili bir yardım dağıtımı, zarar gören bölgelerdeki insanların hayatta kalma şansını artırır ve toplumun daha hızlı iyileşmesine yardımcı olur. Ancak, afet sonrası erişim zorlukları, lojistik engeller ve iletişim problemleri, yardım çalışmalarını karmaşık hale getiren faktörlerdendir.

Teknolojinin ilerlemesi, afet yönetiminde modern çözümleri ön plana çıkarmıştır. Özellikle, İHA teknolojisi, erişilmesi zor bölgelere hızlı ve etkin bir şekilde müdahale edebilme potansiyeli sayesinde dikkat çekmektedir. İHA'lar, yüksek risk taşıyan alanlarda insan müdahalesini en aza indirerek yardım malzemelerinin doğru noktalara, güvenli ve zamanında ulaştırılmasını sağlayabilir. Bu araçlar, zorlu arazi şartlarında ve yıkılmış altyapı üzerinde dahi güvenilir bir şekilde uçuş yapabilir ve canlı görüntü aktarımı sayesinde yer ekiplerine anlamlı bilgiler sağlar. İHA'ların kullanımı, afet bölgesindeki durumun hızla değerlendirilmesine olanak tanıyarak yardım operasyonlarının daha bilinçli ve odaklı bir şekilde yönlendirilmesini mümkün kılar.

Türkiye'de coğrafi konum dolayısıyla zaman zaman doğal afetlerden kaynaklı problemler yaşanmaktadır. Aşırı yağışların yaşandığı zamanlarda kar yüksekliğinin insan boyunu geçmesi, ulaşımı ve bununla beraber ihtiyaçların giderilmesini zorlaştırmıştır. İnsanların yollarda ve evlerinde mahsur kalmaları halinde ihtiyaçlarının giderilmesi için kara araçlarıyla yardım gönderilmesi önem arz etmektedir. Kar küreme araçları ile yollar ne kadar temizlenmeye çalışılsa da belli bir vakit alan bu işlem, yolların geç açılmasına ve böylelikle insanlara yardımın geç gitmesine neden olmaktadır. Bu durumda, İHA'lar lojistik faaliyetlerinde hızlı teslimat, planlama ve görev başarısı açısından kritik öneme sahiptir. Bu gibi durumlarda İHA'ların kullanılması, evinden çıkamayan ihtiyaç sahibi insanlar için kapısına kadar getirilen tıbbi malzeme, gıda, kıyafet gibi ürünler büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, doğal afet gibi acil durumlarda belirlenen hedef noktalara İHA'lar ile yardım malzemesi dağıtımı probleminin ARP ile modellenmesi ve problem için etkin bir algoritmanın geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Geliştirilen algoritmanın hedefi her bir İHA'nın ziyaret edeceği yardım noktalarının tespit edilmesi ve bu noktalar için en kısa yolların belirlenmesidir. Makalenin geri kalanında; ilk olarak ele alınan problem detaylandırılmış ve bu konuda literatürde-

ki mevcut çalışmalar incelenmiştir. Bölüm 2'de araştırmada kullanılan yöntemler açıklanmıştır. Bölüm 3'te kullanılan veri seti hakkında bilgi verilmiş ve deneylerin sonuçları değerlendirilmiştir. Son olarak, Bölüm 4'te çalışmanın genel sonuçları özetlenerek gelecekteki araştırmalara yönelik önerilerde bulunulmuştur.

1.1. Problem

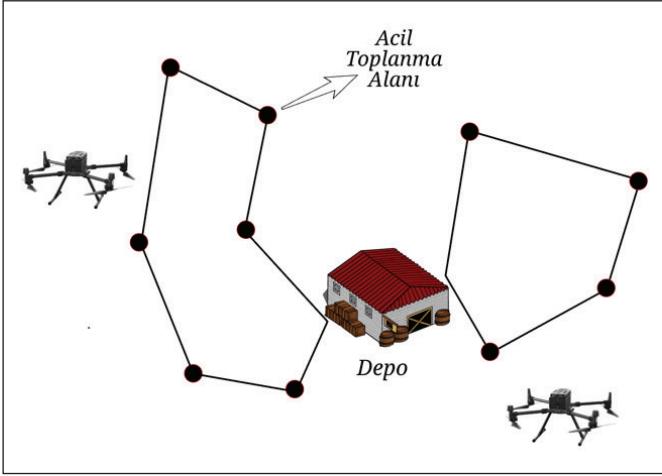
ARP, araçların belirli bir depo veya depolardan hareket ederek, müşterilere hizmet sunmasını sağlarken toplam maliyeti minimize etmeyi amaçlayan bir optimizasyon problemidir (Toth ve Vigo 2002, Praveen vd. 2022). Bu problem genellikle, her müşteriye en az bir kez uğranması ve her aracın kapasite sınırlamalarına uygun hareket etmesi gerekliliği ile kısıtlanır. ARP, $G = (V, E)$ bir graf üzerinde tanımlanır, burada V düğüm kümesi depo ve müşterileri içerir, E ise bu düğümler arasındaki kenar kümesidir. Her kenarın bir maliyeti (genellikle mesafe veya zaman olarak ifade edilir) bulunmaktadır. ARP'nin amacı, araçların toplam seyahat maliyetini minimize edecek şekilde turlar oluşturmaktır. ARP'nin temel kısıtları şunlardır:

- Her müşteri ziyaret edilmelidir.
- Her tur depodan başlayıp depoda sonlanmalıdır.
- Her müşteri sadece bir turda ziyaret edilir.
- Her aracın taşıma kapasitesi aşılmamalıdır.

Kısıtların çeşitliliği ile çok sayıda farklı ARP versiyonu elde edilmektedir (Toth ve Vigo 2002). Şekil 1'de 2 araç ve 10 ziyaret noktasından oluşan tipik bir ARP'nin en iyi rotaları gösterilmiştir. ARP'nin gerçek hayatta pek çok uygulaması mevcuttur. Bunlardan bazıları;

- Havayolu şirketleri ile yolcu veya ürün taşınması,
- Kargo dağıtımı,
- Benzin ve mazot dağıtımı,
- Çöplerin belediye tarafından toplanması,
- Günlük ekmek, süt vb. ürünlerin dağıtımı

olarak örneklendirilebilir (Toth ve Vigo 2014, Huang vd. 2020). Özellikle doğal afet gibi acil durumlarda, yardım malzemelerinin etkili bir şekilde dağıtılması için ARP'nin çözülmesi büyük önem taşır. Afet sonrası değişken koşullar ve yıkılmış altyapı, ARP'nin daha karmaşık hale gelmesine neden olur. Acil yardım malzemelerinin önceliklendirilmesi, araçların yük kapasitelerinin dikkate alınması ve enkaz altında kalan yollar gibi fiziksel engeller, rotalama stratejilerini etkileyen önemli faktörlerdir.



Şekil 1. Araç rotalama problemi.

Ele alınan problemde İHA'lar ile yardım noktalarının ziyaret edilmesi gerekmekte ve her bir İHA'nın hem ağırlık hem de uçuş süresi için belirli kısıtları bulunmaktadır. Dolayısıyla problem Kapasite ve Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KM_arp) olarak değerlendirilebilir. KM_arp'de her bir İHA tek bir depodan dağıtıma başlar, teslimatları yardım noktalarına (ziyaret noktaları) bırakıp, depoya geri döner. Burada amaç hem kullanılan İHA sayısını hem de toplam gidilen yolu minimize etmektir.

KM_arp, NP-Zor problemler sınıfına girmektedir. Bu nedenle araç sayıları ve ziyaret noktalarının sayısı arttıkça makul sürelerde en iyi çözümün bulunması giderek zorlaşmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada problemin çözümü için etkin bir algoritma ile en iyiye yakın çözümlerin bulunması hedeflenmiştir.

1.2. Literatür

Doğal afetler sonrasında hızlı ve etkili yardım dağıtımının önemi pek çok araştırmada vurgulanmaktadır. Bu çalışmalar, afet yönetimi süreçlerinde teknolojinin rolünü ve potansiyelini de detaylıca incelemektedir. Özellikle, İHA teknolojisi son yıllarda bu alanda dikkat çeken yenilikler arasında yer almaktadır. Son on yılda yapılan araştırmalar, İHA'ların afet bölgelerindeki lojistik destek, hızlı hasar tespiti ve iletişim altyapısının yeniden kurulumu gibi çeşitli roller üstlenebileceğini göstermiştir. Örneğin, Bejiga ve arkadaşları (2017) yaptığı çalışmada, çığ felaketi sonrası enkazdaki kişileri bulmak ve hasarı değerlendirmek için optik kameralar gibi sensörlerle donatılmış İHA'ların kullanımı incelenmiştir (Bejiga vd. 2017). Zhang ve arkadaşlarının (2019) yaptığı çalışma, İHA'ların sel felaketleri sonrasında yıkılan köprülerin hasar tespitinde ne kadar etkili olabileceğini or-

taya koymaktadır (Zhang vd. 2019). Mishra ve arkadaşları (2020) tarafından doğal afet durumunda İHA'ların arama ve kurtarma operasyonlarını hızlandırma potansiyeli incelenmiştir. Çalışmada, insan eylemi tespiti için yeni bir görüntü veri seti önerilmiş ve derin öğrenme yöntemleri ile deneyler gerçekleştirilmiştir (Mishra vd. 2020). Khan ve arkadaşları (2021) acil medikal durumlarda kullanılması için İHA rota planlamaları üzerine çalışmıştır. Çalışmada en kısa rotaların tespiti için Parçacık Sürü Optimizasyonu, Karınca Kolonisi Optimizasyonu ve Genetik Algoritmalarının performanslarını karşılaştırmışlardır (Khan vd. 2021). Chowdhury ve arkadaşları (2017) afet sonrası bölge inceleme maliyetini en aza indirmek için Heterojen Sabit Filolu İHA Yönlendirme Problemi için karma tamsayılı bir doğrusal programlama modeli önermiştir. Geliştirilen model, İHA güzergâhına özgü batarya şarj maliyetleri, hizmet maliyetleri gibi çeşitli faktörleri dikkate almaktadır (Chowdhury vd. 2017). Yang ve arkadaşları (2019) çalışmasında, İHA'ların afet sonrası veri toplama ve iletiminde daha verimli kullanılmasını sağlayan bir algoritma sunarak enerji tüketimini ve veri iletim gecikmesini önemli ölçüde azalttığını belirtmiştir (Yang vd. 2019). Nedjati ve arkadaşları (2016) deprem sonrası acil müdahale için yeni bir yardım dağıtım sistemi tanıtmıştır. Çalışmada, yolların bloke olduğu ve zaman kısıtlarının olduğu afet müdahale aşamasında İHA'ların yardım dağıtıcıları olarak kullanılması önerilmiştir. Tahran'da gerçekleştirilen vaka çalışmasında, önerilen sistemin yüksek nüfus yoğunluğuna sahip kentsel alanlarda etkili olduğu ve kısa sürede büyük miktarda talebi karşılayabildiği gösterilmiştir (Nedjati vd. 2016). Wang ve arkadaşları (2022) yardım operasyonlarında kullanılan İHA'ların etik değerlendirmesi için bir çerçeve geliştirmiş olup bu çerçevenin İHA kullanımıyla ilgili etik değerlendirmeler için pratik ve teorik rehberlik sağlayan, çok seviyeli bir araç olduğunu belirtmiştir. Geliştirilen çerçeve ile yardım kuruluşlarının ve uygulayıcılarının İHA projelerinde etik kararlar almasına yardımcı olunması amaçlanmıştır (Wang vd. 2022). Polat (2023) tarafından, İHA'lar kullanılarak 6 Şubat 2023'te Türkiye'nin Hatay bölgesinde meydana gelen depremler sonrası yüzey deformasyonları ve kırıklar incelenmiştir. Yüksek çözünürlüklü 3-boyutlu modelleme ve hava görüntüleri kullanılarak yüzeydeki çatlaklar ve çökme alanları tespit edilmiş olup İHA tabanlı veri toplama ve analiz tekniklerinin sismik tehlike değerlendirmelerinde yüksek doğruluk ve detay sağladığı belirtilmiştir (Polat 2023). İHA teknolojisinin afet yönetimindeki kullanımında karşılaşılan bazı teknik zorluklar ve bunların üstesinden gelmek için önerilen çözümler de bulunmaktadır. Bu zorluklardan bazıları enerji verimliliği, uçuş süresi

ve dayanıklılık gibi sorunlar, araştırmacılar tarafından sıkça ele alınmıştır. Örneğin, Restas (2015) yaptığı çalışmada afet yönetimini desteklemek için İHA'ların kullanımına dair bazı deneyimleri ve girişimleri değerlendirmiştir. Çalışma, afet yönetiminde operasyonel ve taktiksel İHA uygulamalarına odaklanmaktadır (Restas 2015). Zhang ve arkadaşları (2024) mevcut ticari İHA'lara kıyasla maliyetleri önemli ölçüde düşüren ve daha yüksek performans sağlayan bir İHA çözümü sunmuştur. Tasarlanan İHA'nın, özellikle son kilometre teslimat uygulamalarında daha düşük maliyetle ve yüksek verimlilikle çalışabilme potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir (Zhang vd. 2024). Khoufi ve arkadaşları (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, pil kapasitesi, taşıma kapasitesi ve zorlu hava koşullarına karşı savunmasızlığı gibi sorunlar ele alınmıştır. Gezin Satıcı Problemi ve ARP, İHA bağlamında uyarlanarak çözüm teknikleri ve performans metrikleri hakkında genel bir bakış sunulmuştur (Khoufi vd. 2019). Zhao ve arkadaşları (2019) afet durumlarında İHA destekli bir acil durum ağı için birleşik bir çerçeve oluşturmuştur. Ayrıca, çok atlamalı İHA aktarımı ile afet bölgeleri ile dışarı arasında bilgi alışverişi optimize edilmiştir (Zhao vd. 2019). Lee ve arkadaşları (2020) İHA'ların uzun süreli operasyonlar için enerji verimliliğini artırma yollarını araştırmıştır (Lee vd. 2020). Radzki ve arkadaşlarının (2021) yaptığı çalışmada, hava koşullarının İHA'ların enerji tüketimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Amaç, değişen hava koşulları altında bir İHA filosu tarafından planlanan teslimatların bataryaları boşalmadan önce tamamlanmasını sağlamak ve acil durum rotalarını belirlemektir. Kısıt programlamaya dayalı bir yaklaşım kullanılarak, görev planının farklı parametrelerle değişen hava koşullarına nasıl dayanıklı olduğu analiz edilmiştir (Radzki vd. 2021).

Afet yönetiminde İHA kullanımının yanı sıra, benzer teknolojik araçların (örneğin, otomatik kara araçları ve sabit kanatlı uçaklar) kullanımına yönelik çalışmalar da mevcuttur. Bu çalışmalar, farklı teknolojilerin avantajlarını ve sınırlılıklarını karşılaştırmaktadır. Bununla birlikte, Azmat ve Kummer (2020) tarafından, insansız kara araçları ve İHA teknolojilerinin yardım operasyonlarında nasıl kullanılabileceğine dair bir kavramsal model sunulmuş olup bu teknolojilerin lojistik ve ulaşım zorluklarını hafifletebileceğini, ancak insansız kara araçlarının teknolojik olgunluk açısından henüz yeterince gelişmediği belirtilmiştir. İHA'ların ise zaten başarılı bir şekilde test edildiği ve daha erken benimsenebileceği sonucuna varılmıştır (Azmat ve Kummer 2020). Bu çalışmalara ek olarak literatürde İHA'ların yol ve rota için kullanıldığı çalışmalar da bulunmaktadır. Pakkan ve Ermiş

(2010) çalışmasında, Hava Kuvvetleri'nin gözlem amaçlı olarak İHA'ların hedeflere görev planlamasının daha hızlı ve daha etkin şekilde yapılabilmesine yardımcı olabilmek için geliştirilen Genetik Algoritma tabanlı bir çözüm yöntemini kullanmıştır. Önerilen genetik algoritma ile İHA'ların ilgili hedefleri en az mesafe ile ziyaret etmesi amaçlanmıştır (Pakkan ve Ermiş 2010). 2016 yılında Bekhti ve arkadaşları, tarafından, otonom İHA'lar için, bölgesel kablosuz ağların izleme kapasiteleri ile yol planlaması çalışması yapılmıştır. Amaç hedef noktaya ulaşım maliyetini minimize etmektir (Bekhti vd. 2016). Hachiya ve arkadaşları (2022) tarafından yapılan çalışmada, İHA'ların rotalama problemi çok amaçlı ve çok İHA'lı bir problem olarak formüle edilmiştir. Takviyeli öğrenme yöntemleri ile optimize edilen model, ikmallerin hızı, aciliyeti ve eşitliği gibi performans ölçütlerine dayanarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, modelin tahliye merkezlerine acil yardım malzemesi tedarikinde istikrar sağladığını göstermektedir (Hachiya vd. 2022).

2. Gereç ve Yöntem

Bu çalışmada hem araç kapasitesi hem de kat edilen mesafe kısıtlarını içeren bir ARP ele alınmıştır. Geliştirilen algoritma, ziyaret noktalarını alt gruplara bölmek için k -means kümeleme algoritmasını ve her bir grup için en kısa rotalarını belirlemek için NN algoritmasını kullanmaktadır. Bu yaklaşım hem toplam kat edilen mesafeyi hem de kullanılan İHA sayısını minimize etmeyi hedefler.

k -means Algoritması bir veri kümesindeki verilen noktaları belirli bir sayıda (k) kümeye ya da gruba ayırmak için kullanılan bir yöntemdir. Bu algoritmanın amacı, aynı kümedeki noktaları birbirlerine en yakın ve diğer kümedeki noktalara en uzak oldukları şekilde gruplamaktır. k -means algoritması özellikle büyük veriler üzerinde hızlı ve etkili bir şekilde çalıştığı için tercih edilmektedir. k -means algoritmasının temel adımları aşağıdaki gibidir:

1. Başlangıçta k sayıda küme merkezi rastgele seçilir.
2. Her veri noktası, en yakın olduğu küme merkezine atanır. Noktalar arasındaki mesafeler Öklid, Manhattan ve Minkowski gibi metriklerle göre belirlenir.
3. Her kümedeki tüm veri noktalarının ortalama değeri hesaplanır ve bu ortalama yeni küme merkezi olarak belirlenir.
4. Noktaların atama ve merkezlerin güncellenmesi işlemleri, küme merkezleri sabit kalana veya belirlenen bir hata eşiği sağlanana kadar tekrarlanır.

Önerilen yöntemde, k -means algoritmasındaki A ve B noktaları arasındaki uzaklıkların hesaplanması için kullanılan Öklid metriği aşağıdaki gibidir:

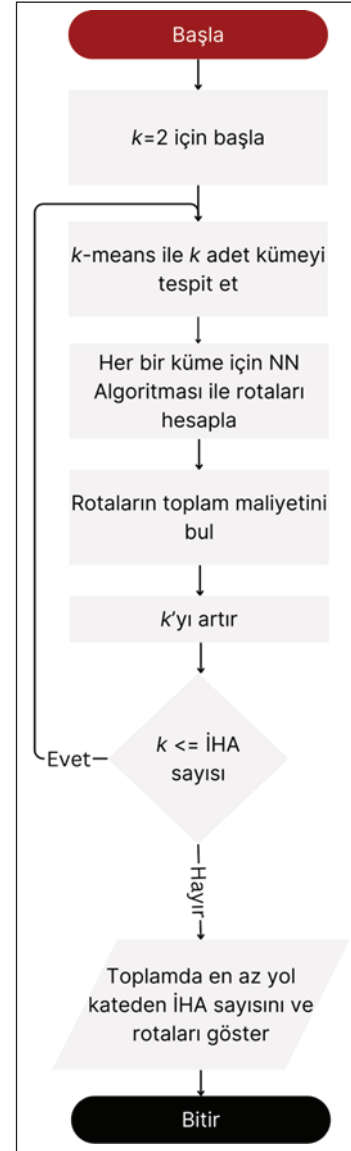
$$d(A, B) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (1)$$

NN Algoritması, Gezgin Satıcı Problemi için kullanılan basit ve etkili bir rota bulma yöntemidir. NN algoritmasının temel adımları aşağıdaki gibidir:

1. İlk olarak rastgele ya da belirli bir kısıta göre başlangıç noktası belirlenir.
2. Başlangıç noktasından henüz ziyaret edilmemiş en yakın nokta bulunur. Noktalar arasındaki uzaklık, genellikle eşitlik (1)'deki gibi Öklid metriği veya problemde tanımlanan diğer uzaklık metrikleri ile hesaplanır.
3. Tespit edilen en yakın nokta rotaya eklenir ve yeni başlangıç noktası olarak belirlenir.
4. Henüz ziyaret edilmemiş noktalar var ise adım 2'ye dönlür.
5. Tüm şehirler ziyaret edildikten sonra, ziyaret edilen son noktadan başlangıç noktasına geri dönlür ve tur tamamlanır.

Bu çalışmada, acil durumlar sonrasında İHA'lar ile yardım malzemelerinin etkin dağıtımı için k -means ve NN algoritmaları birlikte kullanılmıştır. Bu yaklaşımdaki amaç, öncelikle k -means algoritması ile hangi İHA'nın hangi noktaları ziyaret edeceğinin belirlenmesi, sonrasında ise NN algoritması ile bu noktaların hangi sıra ile ziyaret edileceğinin tespit edilmesidir. Önerilen yöntemde, operasyon sürecinde kullanılan İHA sayısını optimize etmek için k -means küme sayısı (k) 2'den başlayarak bir üst limite kadar (ds) değiştirilmiş ve her bir k değeri için çözümlerin uygunluğu (İHA'ların kapasite kısıtları dikkate alınarak) ve toplam kat edilen mesafeler hesaplanmıştır. Burada, k -means algoritması ile tespit edilen her bir küme için NN algoritması kullanılarak en yakın noktalar arasında rotalar oluşturulmuştur. Kullanılan NN algoritmasında, başlangıç noktası İHA'ların bulunduğu depo alanı olarak belirlenmiştir. Özetle, önerilen yaklaşımda öncelikle ziyaret edilecek noktalar k -means algoritması ile k adet kümeye ayrılır, daha sonra her bir küme için başlangıç noktası İHA'ların depoları olmak üzere en kısa turlar belirlenir. Tüm kümeler için tespit edilen turların mesafeleri toplanarak, k adet İHA kullanılması durumunda toplam kat edilecek mesafe hesaplanır. Bu çalışmada, önerilen yaklaşım 2'den başlayarak bir üst limite kadar olan tüm k değerleri

için takip edilmiş ve sonrasında toplamda kat edilecek en düşük mesafeye sahip k değeri ve rotalar en iyi çözüm olarak raporlanmıştır.



Şekil 2. İHA rota optimizasyonu akış diyagramı.

Önerilen algoritmanın temel adımları Şekil 2'deki akış diyagramında verilmiştir. Acil durumlar sonrası yardım malzemelerinin etkin dağıtımı için en uygun İHA sayısının (k) ve her bir İHA'nın rotaların belirlenmesi, İHA başına düşen toplam mesafeyi önemli ölçüde azaltmakta ve böylece hem maliyet etkinliği hem de operasyonel verimliliği artırmaktadır. Bu özellikler geliştirilen algoritmanın gerçek hayat problemlerine uygulanabilirliğini artırmaktadır.

3. Bulgular ve Tartışma

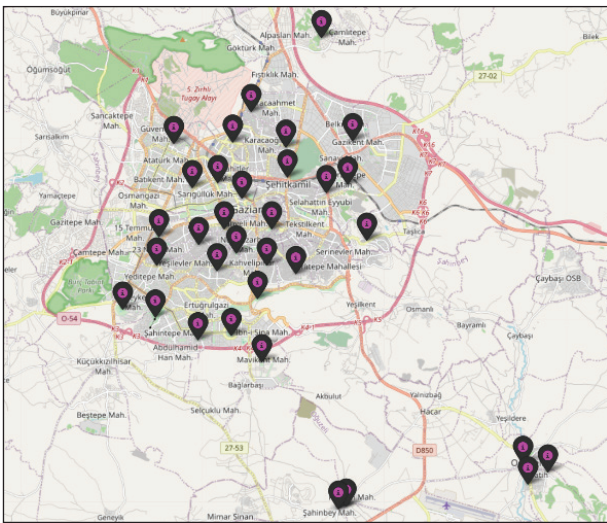
Makalenin bu bölümünde, gerçekleştirilen uygulamaya dair bilgiler verilmiştir. Uygulamanın gerçekleştirilmesi için öncelikle bir İHA modeline karar vermek gerekmektedir. Bu doğrultuda endüstriyel uygulamalarda sıkça kullanılan Emax GT5345 170KV motoru kullanılan endüstriyel bir İHA seçilmiştir (Şekil 3). Bu İHA'nın genel özelliklerine bakıldığında; maksimum ağırlıkla (78 kg iken) 22 dk uçuş süresi (hover time), 68 kg azami kalkış ağırlığı (maksimum taşıyacağı ekstra yük) ve saniyede 30 m/s hızı olduğu tespit edilmiştir. Uygulama için her bir yardım kitinin ortalama ağırlığı 5 kg olarak alınmıştır.



Şekil 3. Endüstriyel İHA (https://tinyurl.com/yuasp8kw).

3.1. Veri Seti

Uygulamada veri seti olarak, Gaziantep ili acil toplanma alanlarının bulunduğu 34 adet lokasyon kullanılmıştır. Şekil 4'te bu noktaların harita üzerindeki gösterimlerine yer verilmiştir. Çalışmada kullanılan veri seti, Yandex arama motorundan elde edilmiştir (Yandex 2024).



Şekil 4. Harita üzerinde Gaziantep iline ait toplanma noktaları.

Uygulamada Gaziantep ilinin acil toplanma alanları İHA'ların ziyaret noktaları olarak belirlenmiştir. Örnek teşkil etmesi açısından Şekil 5'te çalışmada kullanılan veri setinin ilk 10 kaydı verilmiştir.

	Toplanma yeri	Enlem	Boylam
0	Şahinbey Belediye Mesire Alanı	37.024608	37.314802
1	Güneykent Park Alanı	37.021532	37.330478
2	Turgut Özal Parkı	37.012659	37.350977
3	Akkent Meydan Parkı	37.014332	37.367186
4	Büyük Park	37.004190	37.381849
5	Yeşilvadi Parkı	37.028609	37.380016
6	Şehit Seyit Doğan Parkı	37.039339	37.360385
7	Deniz Semt Pazar Yeri	37.041419	37.331043
8	Doktor Ersin Aslan Parkı	37.052438	37.332234
9	İstiklal Piknik Alanı	37.049534	37.351315

Şekil 5. Veri setinde bulunan ilk 10 kayıt.

3.2. Deneysel Sonuçlar

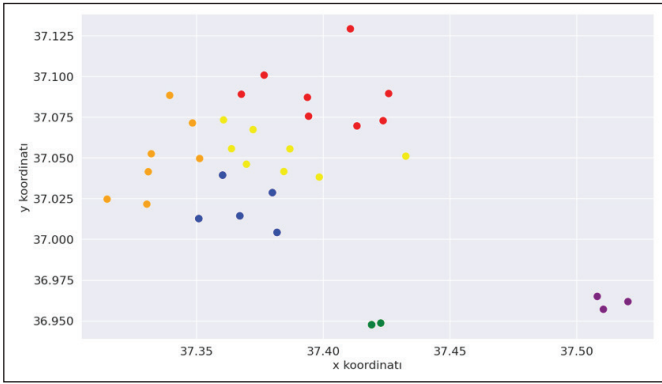
Uygulama Python dilinde kodlanmış olup ilk aşamada Pandas kütüphanesi yardımıyla veri seti DataFrame yapısına dönüştürülmüştür. Veri setinde enlem ve boylam bilgileri derece türünden verilmiştir. Uzaklık hesaplarının yapılabilmesi için dereceden radyana dönüşümle mil ya da kilometre türünde iki nokta arası uzaklık hesabı yapan fonksiyon oluşturulmuştur. Oluşturulan fonksiyon kullanılarak kilometre türünde uzaklıklar hesaplanarak noktaların uzaklık matrisi oluşturularak ilk aşama tamamlanmıştır.

Çizelge 1. Farklı k değerleri için kat edilecek toplam mesafeler.

k	Kat Edilecek Toplam Mesafe
6	150,911
7	153,191
8	157,591
9	165,601
10	175,641

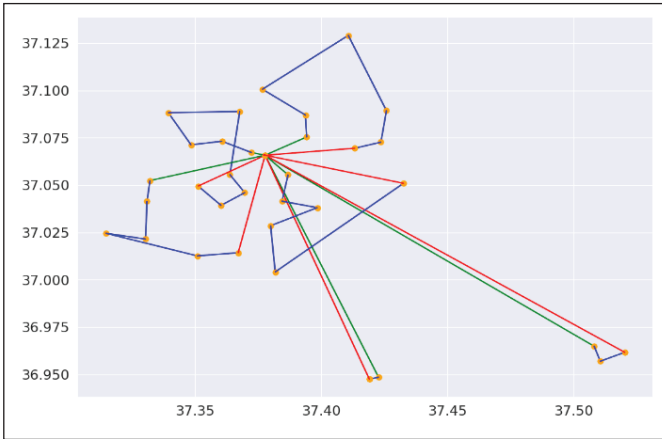
Uygulamada İHA'ların kalkış koordinatları Gaziantep il merkezi (37.065827, 37.377838) olarak belirlenmiştir. Problemin kısıtlarına bakıldığında; konum limiti (bir kümedeki maksimum konum sayısı) 10, kullanılacak yardım kiti 5 kg ve küme içerisinde gidilebilecek maksimum km, 36 km olarak belirlenmiştir. Uygulamada olası İHA sayısı (k -means'teki küme sayısı) $k = 2, \dots, 10$ olarak belirlenmiştir.

Ancak bir İHA'nın ziyaret edebileceği maksimum nokta sayısı kısıtı dikkate alındığında $k = 2, \dots, 5$ için uygun çözümlerin bulunamadığı görülmüştür. $k > 5$ için problemin tüm kısıtlarının sağlandığı çözümler elde edilmiştir. Her bir k değeri için kat edilmesi gereken toplam mesafeler (km) Çizelge 1'de verilmiştir. Bu çizelgede verilen değerler, İHA'ların kalkış koordinatlarının, ziyaret edilecek noktaların rotalarının başlangıç ve bitişine eklenerek elde edilmiştir. Bu değerler göz önüne alındığında toplamda en kısa mesafeye sahip rotaların $k = 6$ iken elde edildiği görülmüştür.



Şekil 6. Gaziantep ilinin toplanma noktaları.

Şekil 6'da 34 adet toplanma alanı üzerinde $k = 6$ için elde edilen kümeler (her bir kümenin noktaları farklı renklerle temsil edilmiştir) görselleştirilmiştir. Şekil 7'de $k = 6$ için bulunan tüm rotalar tek bir görsel ile verilmiştir.



Şekil 7. $k = 6$ için elde edilen tüm rotalar.

Daha detaylı bir anlatım için Şekil 8'de, her bir küme için NN algoritması ile elde edilen rotalar ayrı ayrı görselleştirilmiştir. Bu şekilde yeşil çizgiler İHA'nın merkezden çıkışını, kırmızı çizgiler İHA'nın merkeze girişini, mavi çizgiler ise toplanma noktaları arasındaki geçişleri göstermektedir. Her

bir rotanın uzunluğu, noktalar arasındaki mesafeleri toplayarak elde edilmiştir. Daha sonra, tüm rotaların uzunlukları toplanarak ilgili k değeri için toplam mesafe hesaplanmıştır.

Çizelge 2'de $k = 6$ için her bir kümede belirlenen rotalarda kat edilmesi gereken toplam mesafeler, bu rotalarının tamamlanması için gereken zaman ve İHA'ların pil kullanma yüzdeleri verilmiştir. Rotalarının tamamlanması için gereken zamanın hesaplanmasında kullanılan İHA'ların hızının ortalama 1.8 km/dakika olduğu varsayılmıştır. İHA'ların kullanılan pil yüzdesi hesabında ise her bir İHA'nın maksimum uçuş süresi 22 dakika olarak varsayılmış ve İHA'ların havada kalma sürelerinin maksimum değere oranı ile elde edilmiştir.

Çizelge 2. $k = 6$ için önerilen algoritmanın çıktıları.

Küme ID	Kat Edilecek Mesafe (km)	Rotanın Tamamlanma Süresi (dakika)	Kullanılan Pil Yüzdesi
1	18.22	10.12	46
2	35.19	19.55	88
3	14.18	8.5	39
4	27.62	15.35	70
5	26.85	14.9	68
6	19.41	10.8	49

Çizelge 2'deki değerler incelendiğinde tüm toplanma noktalarına en fazla 20 dakika içinde ulaşıldığı görülmektedir. Bununla birlikte, bir İHA'nın ortalama havada kalma süresi 13.2 dakika ve kullandığı ortalama pil ömrü yüzdesi %60'tır.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, doğal afetler gibi acil durumlarda İHA'lar ile yardım malzemesi dağıtımı için bir ARP ele alınmış ve problem için etkin bir algoritma önerilmiştir. Geliştirilen algoritma, k -means ve NN algoritmalarını bir arada kullanarak yardım noktalarını en verimli şekilde ziyaret edecek rotaları belirlemektedir. Algoritmanın uygulanabilirliği, Gaziantep ilindeki acil toplanma alanları üzerinden test edilmiştir. Test sonuçları, algoritmanın zorlu ve acil durumlar için lojistik destek sağlamada etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Kullanılan İHA'ların kapasite ve mesafe kısıtlamalarına rağmen algoritma, toplam kat edilen mesafeyi ve kullanılan araç sayısını başarıyla minimize etmiştir.

Bu çalışmada önerilen algoritma, İHA'ların afet yönetiminde kritik bir rol oynayabileceğini göstermiştir. Ayrıca bu çalışma, İHA'ların sadece hızlı ve etkin bir dağıtım aracı

olarak değil, aynı zamanda zorlu coğrafi koşullar ve altyapı hasarı gibi engellerin üstesinden gelmek için stratejik bir çözüm olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Bu tür teknolojilerin entegrasyonu, afet sonrası müdahale süreçlerini önemli ölçüde iyileştirebilir. Son olarak, bu çalışmanın bulguları, daha geniş ölçekli ve çeşitli senaryolar üzerinde ileri araştırmalar için bir temel teşkil edebilir. Gelecek çalışmalarda, farklı kümeleme yöntemleri ve oluşturulmuş kümeler üzerinde tespit edilen rotaların optimize edilmesi gibi araştırma başlıkları incelenebilir.

5. Kaynaklar

- Azmat, M., Kummer, S. 2020.** Potential applications of unmanned ground and aerial vehicles to mitigate challenges of transport and logistics-related critical success factors in the humanitarian supply chain. *Asian journal of sustainability and social responsibility*, 5(1), 3. Doi: 10.1186/s41180-020-0033-7
- Bekhti, M., Abdennebi, M., Achir, N., Boussetta, K. 2016.** Path planning of unmanned aerial vehicles with terrestrial wireless network tracking. *2016 Wireless Days (WD)*, pp 1-6, IEEE, Toulouse, France. Doi: 10.1109/WD.2016.7461521
- Bejiga, MB., Zeggada, A., Nouffidj, A., Melgani, F. 2017.** A convolutional neural network approach for assisting avalanche search and rescue operations with UAV imagery. *Remote Sensing*, 9(2):100. Doi: 10.3390/rs9020100
- Chowdhury, S., Emelogu, A., Marufuzzaman, M., Nurre, SG., Bian, L. 2017.** Drones for disaster response and relief operations: A continuous approximation model. *International Journal of Production Economics*, 188:167-184. Doi: 10.1016/j.ijpe.2017.03.024
- Hachiya, D., Mas, E., Koshimura, S. 2022.** A reinforcement learning model of multiple UAVs for transporting emergency relief supplies. *Applied Sciences*, 12(20):10427. Doi: 10.3390/app122010427
- Huang, Y., Han, H., Zhang, B., Su, X., Gong, Z. 2020.** Supply distribution center planning in UAV-based logistics networks for post-disaster supply delivery. *2020 IEEE International Conference on E-health Networking, Application & Services (HEALTHCOM)*, pp. 1-6, Shenzhen, China. Doi: 10.1109/HEALTHCOM49281.2021.9399012
- Khan, SI., Qadir, Z., Munawar, HS., Nayak, SR., Budati, AK., Verma, KD., Prakash, D. 2021.** UAVs path planning architecture for effective medical emergency response in future networks. *Physical Communication*, 47:101337. Doi: 10.1016/j.phycom.2021.101337
- Khoufi, I., Laoutiti, A., Adjih, C. 2019.** A survey of recent extended variants of the traveling salesman and vehicle routing problems for unmanned aerial vehicles. *Drones*, 3(3):66. Doi: 10.3390/drones3030066
- Lee, J., Sung, CK., Oh, J., Han, K., Lee, S., Yu, MJ. 2020.** A pragmatic approach to the design of advanced precision terrain-aided navigation for UAVs and its verification. *Remote Sensing*, 12(9):1396. Doi: 10.3390/rs12091396
- Mishra, B., Garg, D., Narang, P., Mishra, V. 2020.** Drone- Surveillance for search and rescue in Natural Disaster. *Computer Communications*, 156:1-10. Doi: 10.1016/j.comcom.2020.03.012
- Nedjati, A., Vizvari, B., Izbirak, G. 2016.** Post-earthquake response by small UAV helicopters. *Natural Hazards*, 80:1669-1688. Doi: 10.1007/s11069-015-2046-6
- Pakkan, B., Ermiş, M. 2010.** İnsansız hava araçlarının genetik algoritma yöntemiyle çoklu hedeflere planlanması. *Havacılık ve Uzak Teknolojileri Dergisi*, 4(3):77-84.
- Polat, N. 2023.** UAV-based investigation of earthquake-induced deformation and landscape changes: A case study of the February 6, 2023 Earthquakes in Hatay, Türkiye. *Earth Science Informatics*, 16(4):3765-3777. Doi: 10.1007/s12145-023-01128-y
- Praveen, V., Keerthika, P., Sivapriya, G., Sarankumar, A., Bhasker, B. 2022.** Vehicle routing optimization problem: A study on capacitated vehicle routing problem. *Materials Today: Proceedings*, 64:670-674. Doi: 10.1016/j.matpr.2022.05.185
- Radzki, G., Golinska-Dawson, P., Bocewicz, G., Banaszak, Z. 2021.** Modelling robust delivery scenarios for a fleet of unmanned aerial vehicles in disaster relief missions. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 103:1-18. Doi: 10.1007/s10846-021-01502-2
- Restas, A. 2015.** Drone applications for supporting disaster management. *World Journal of Engineering and Technology*, 3(3):316-321. Doi: 10.4236/wjet.2015.33C047
- Toth, P., Vigo, D. 2002.** The vehicle routing problem. *Society for Industrial and Applied Mathematics*, Philadelphia, PA, USA, 358 pp. Doi: 10.1137/1.9780898718515
- Toth, P., Vigo, D. 2014.** Vehicle routing: Problems, methods, and applications. *Society for industrial and applied mathematics*, Philadelphia, PA, USA, 449 pp. Doi: 10.1137/1.9781611973594
- Wang, N., Christen, M., Hunt, M., Biller-Andorno, N. 2022.** Supporting value sensitivity in the humanitarian use of drones through an ethics assessment framework. *International Review of the Red Cross*, 104(919):1397-1428. Doi: 10.1017/S1816383121000989
- Yandex 2024.** <https://yandex.com.tr/harita/103825/gaziantep>
- Yang, Y., Qiu, X., Li, S., Wang, J., Chen, W., Hung, PCK., Zheng, Z. 2019.** Energy-efficient data routing in cooperative UAV swarms for medical assistance after a disaster. *Chaos*, 29(6):063106. Doi: 10.1063/1.5092740

- Zhao, N., Lu, W., Sheng, M., Chen, Y., Tang, J., Yu, FR., Wong, KK. 2019.** UAV-Assisted emergency networks in disasters. IEEE Wireless Communications, 26(1):45-51. Doi: 10.1109/MWC.2018.1800160
- Zhang, Z., Wu, J., He, C. 2019.** Search method of disaster inspection coordinated by multi-UAV. 2019 Chinese control conference (CCC), pp. 2144-2148, Guangzhou, China. Doi: 10.23919/ChiCC.2019.8865367
- Zhang, Y., Zhao, Q., Mao, P., Bai, Q., Li, F., Pavlova, S. 2024.** Design and control of an ultra-low-cost logistic delivery fixed-wing UAV. Applied Sciences, 14(11):4358. Doi: 10.3390/app14114358