

AFET OPERASYONLARI YÖNETİMİNDE İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ KULLANIMI: GÖZETLEME OPERASYONLARI İÇİN ROTA PLANLAMA

*Sema DEĞİRMEN**
*Fatih ÇAVDUR**
*Aslı SEBATLI**

Alınma:26.08.2018; düzeltme: 23.10.2018; kabul:06.11.2018

Öz: İnsansız hava araçlarının askeri ve ticari uygulamalarının yanında, afet operasyonları yönetiminde de uygulama potansiyelinin bulunması, son zamanlarda bu alana olan ilginin artmasına neden olmuştur. İnsansız hava araçlarının hızlı, emniyetli ve esnek olmaları gibi avantajları afet öncesi ve afet sonrası çeşitli operasyonlarda tercih edilme nedenleri arasındadır. Bu çalışmada, yer araçları kullanılarak afet bölgesine ulaşım sağlanamadığı durumlarda, afet bölgesi durum tespiti için insansız hava araçlarının kullanımı ele alınmıştır. Bu kapsamda, afet bölgelerinin gözetlenmesinde kullanılacak olan insansız hava araçlarının rota planlaması için kümeleme ve matematiksel programlama tabanlı bir yaklaşım önerilmiştir. Çalışmada, sayısal uygulama yapılmış ve sonuçları analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Afet operasyonları yönetimi, Gezgin Satıcı Problemi (GSP), İnsansız Hava Aracı (İHA), Matematiksel programlama, Rota planlama

Use of Unmanned Aerial Vehicles in Disaster Operations Management: Route Planning for Surveillance Operations

Abstract: In addition to military and commercial operations, potential to use unmanned aerial vehicles in disaster operations management has increased the interest in this area recently. Unmanned aerial vehicles have some advantages for their preferences in various pre- and post-disaster operations such as being fast, safe and flexible. In this study, use of unmanned aerial vehicles is considered to determine the conditions in the affected area after a disaster especially when it is not possible to reach the affected area using ground vehicles. A clustering and mathematical programming based approach is proposed for route planning of the unmanned aerial vehicles to be used for surveillance operations. In this study, numerical example is performed and the results are analyzed.

Keywords: Disaster operations management, Traveling Salesman Problem (TSP), Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Mathematical programming, Route planning

1. GİRİŞ

Afet, bir toplumun işleyişini ciddi biçimde bozan ve toplumun kendi kaynaklarını kullanarak baş edebilme yeteneğini aşan beşeri, maddi ve ekonomik veya çevresel kayıplara neden olan ani bir olaydır (URL1). Her yıl meydana gelen ve binlerce can kaybına, milyonlarca kişinin de etkilenmesine neden olan afetler, doğal ve insan kaynaklı olabilmektedirler (Van Wassenhove, 2006). Bu konuda Van Wassenhove (2006), yavaş başlangıçlı veya ani başlangıçlı olmak üzere doğal ve insan kaynaklı afetlerin, afet hızına göre sınıflandırılmasını önermiştir.

* Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Nilüfer, 16059 Bursa

İletişim Yazarı: Aslı Sebatlı (aslisebatli@gmail.com)

Örneğin, açlık, kuraklık, siyasi ve mülteci krizleri yavaş başlangıçlı afetler arasında yer alırken depremler, kasırgalar, teknolojik başarısızlıklar ve terör saldırıları ani başlangıçlı afetler arasındadır.

Afetlerin potansiyel sonuçları büyük ekonomik kayıpları, nüfusun büyük çoğunluğunun etkilenmesini ve ciddi çevresel zararları içermektedir. Bu yıkıcı etkiler göz önüne alındığında afetlerin olası etkilerini azaltmak için önlemler geliştirmeye yönelik faaliyetleri içeren afet operasyonları yönetimi alanına olan ilgi artmaktadır (Galindo ve Batta, 2013). Afet operasyonları yönetimi, literatürde yapılan en genel sınıflandırmaya göre azaltma (mitigation), hazırlık (preparedness), müdahale (response) ve iyileştirme (recovery) olarak dört aşamadan oluşmaktadır. Azaltma ve hazırlık, afet öncesi yapılan faaliyetler arasında yer alırken müdahale ve iyileştirme ise afet sonrasında yapılan faaliyetler arasındadır. Azaltma aşaması, bir afetin başlamasını engellemek veya afetin olması halinde etkisini azaltmak amacıyla afet öncesinde yapılan faaliyetlerin bütünüdür. Hazırlık aşaması, toplumun afete müdahale yeteneğini arttırmak için alınan önlemleri içermektedir. Müdahale aşamasında ise yaşamın, mülkiyetin, çevrenin ve toplumun sosyal, ekonomik ve siyasal yapısının korunması planlarının rehberliğinde, kaynakların ve acil durum prosedürlerinin kısa vadede istihdam edilmesi gibi faaliyetler gerçekleştirilmektedir. Son olarak iyileştirme aşaması, afetten etkilenen toplumun istikrara kavuşturulması ve normal koşullara geri dönülmesi için uzun vadede yapılan faaliyetleri içermektedir (Altay ve Green, 2006).

Bir afet durumunda, afetzedelerin hayatta kalma olasılığının en yüksek olduğu ilk birkaç saat kritik bir süreç olarak tanımlanabilir. Afet sonrası durumlarda mevcut tüm insan kaynaklarının arama kurtarma görevine odaklanması gerekir. Ayrıca, kurtarma operasyonlarının koordine edilmesi ve afetin etkisinin olabildiğince hızlı bir şekilde değerlendirilmesi, müdahale faaliyetlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin, Türkiye’de 1999 yılında meydana gelen Gölcük depreminde yaklaşık 25.000 kişi hayatını kaybetmişken Japonya’da aynı büyüklükte 2008 yılında meydana gelen Tohoku depreminde yalnızca 12 kişi hayatını kaybetmiştir. Altyapı karmaşıklığı, kaynaklara ulaşmadaki zorluklar ve hasar tespitindeki gecikmeler bu durumun nedenleri arasında gösterilebilir (Natarajarathinam ve diğ., 2009). Son yıllarda, afet hasarını ve kayıplarını değerlendirmek için yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleme ve lazer tarama sistemleri geliştirilmektedir. Ancak uydu sistemleri, görüntü elde etmek ve elde edilen görüntüleri uyduya bağlamak için zaman kısıtlamaları, hava şartları ve veri toplama sonrasında uydudan veri dağıtımındaki gecikme gibi birçok kısıtlamaya sahiptir (Nedjati ve diğ., 2016). Afet sonrasındaki kritik süreçte bahsi geçen nedenler ve olası altyapı hasarları, uydular aracılığı ile afet bölgesinden görüntü almayı zorlaştırdığından, afet sonrası durumun değerlendirilmesi için insansız hava araçlarının kullanımı son yıllarda önem kazanmaktadır (Bendea ve diğ., 2008; Xu ve diğ., 2014). Esneklik, güvenlik, kullanım kolaylığı, nispeten düşük elde bulundurma ve işletme maliyeti, afet durumlarında insansız hava aracı kullanımını kolaylaştırmaktadır (Xu ve diğ., 2014; Bravo ve Leiras, 2015). Bununla birlikte, afet durumunda insan kaynaklarının azlığı, zaman baskısı ve acilen bilgi ihtiyacının olması, maksimum bilginin toplanması ve etkilenen bölgeler üzerinden iletişim sağlanması için insansız hava araçlarının kullanımına yönelik yeterli sebepleri oluşturmaktadır (Camara, 2014).

İnsansız Hava Aracı (İHA), içinde insan olmayan, otonom ya da uzaktan komutayla çalışabilen, çeşitli yükleri taşıyabilen bir hava aracıdır. İHA’ların en önemli özelliklerinden biri, tehlikeli ve riskli görevlerde uzaktan komuta ile veya otonom olarak kullanılabilmesidir. Bu kapsamda İHA’ların, jeolojik ve meteorolojik araştırmalar, uluslararası sınır devriyesi, keşif ve gözetleme, arama ve kurtarma, bilimsel araştırmalar, inşaat yönetimi gibi birçok farklı kullanım alanı bulunmaktadır. Bunlara ek olarak İHA’lar, afet sonrası durum tespiti için afet operasyonları yönetiminde de kullanılmaktadır. Afet bölgesine herhangi bir müdahale kaynağı sevk edilmeden önce İHA’lar, yüksek hasarın beklendiği afet bölgelerine gönderilebilir ve ilk değerlendirmeyi yapabilirler. Söz konusu ilk değerlendirme, afet bölgesinde hasar görmüş yerlerin hasar düzeylerini ve ulaşım ağının durumunu içerebilir. Böylelikle afet sonrası durum

daha iyi bir şekilde gözlemlenebildiğinden, kaynak tahsisi planlanması da daha etkili bir şekilde yapılabilir (Liu ve diğ., 2014). Bununla birlikte, geçici bir iletişim ağı kurmak, afet bölgesinin güncel haritalarını oluşturmak ve kurtarma ekiplerinin afetzedeleri kurtarmak için daha fazla imkanının olduğu bölgeleri bulmak İHA'ların afet operasyonları yönetiminde kullanılabilceği alanlar arasında yer almaktadır (Camara, 2014).

İHA'ların afet operasyonları yönetiminde sıklıkla görülen uygulama alanları; afet sonrası etkilenen bölgeleri haritalamak, toplanan görüntüleri analiz etmek, İHA ağlarını koordine etmek, afetleri birtakım kimyasal sensörler aracılığı ile tespit etmek, İHA'ları diğer iletişim araçları ile entegre etmek ve hızlı ve kaliteli bilgi iletimini sağlamaktır. Bununla birlikte, afet operasyonları yönetimi alanında İHA'ların ele alındığı çalışmalar incelendiğinde, İHA'ların büyük ölçüde afet sonrası operasyonlarda kullanıldığı görülmektedir (Bravo ve Leiras, 2015). Örneğin, Quaritsch ve diğ. (2010) tarafından yapılan çalışmada, bir hava sensör ağı tasarımı ve olası bir afet durumunda tasarlanan ağın kullanımı ele alınmaktadır. Yazarlar, söz konusu sensörlerin optimum yerleşimi amacıyla kapsama problemi için tamsayılı doğrusal programlama modelini kullanmışlardır. Mukherjee ve diğ. (2014), afet sonrası operasyonlarda İHA'ların görüş hattı iletişiminin artırılması amacıyla sinyal yenileyici görev gören yüksek irtifalı bir hava platformu önermiş olup İHA ve yer istasyonu arasındaki veri iletişimini belli bir yol aralığı içinde gerçekleştirmek için başlangıç test platformu geliştirmişlerdir. Tuna ve diğ. (2014) tarafından yapılan çalışmada, İHA'ların afet sonrası senaryolarda acil durum yönetimi alanındaki çalışanlarla iletişiminin kurulması için İHA destekli bir iletişim sistemi önerilmiştir. Luo ve diğ. (2015), telekomünikasyon altyapılarının hasar gördüğü afet sonrası durumu dikkate alarak bağlantının koptuğu, kesikli ve sınırlı olduğu ağ koşullarından meydana gelen zorlukların giderilmesi için yeni bir bulut destekli İHA uygulama çerçevesi önermişlerdir. Restas (2015) tarafından yapılan çalışmada, operasyonel ve taktiksel seviyede farklı afet durumları (deprem, sel, orman yangını, nükleer kaza ve tehlikeli madde salınımı) için İHA'ların kullanımı ele alınmıştır.

İHA'lar, afet operasyonları yönetiminin yanı sıra yukarıda da bahsedildiği gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Söz konusu bu alanlarda İHA'ların kullanımına yönelik çeşitli problem tipleri literatürde ele alınmış olup bu çalışmada ise İHA rota planlama (yol planlama, rotalama) problemine odaklanılmıştır. İHA rota planlama problemini farklı kapsamlarda ele alan birçok çalışma bulunmaktadır. Örneğin; Lee ve diğ. (2003) bir İHA'nın, hızını ve yönünü değiştirebilecek olan bir yer aracını takip edebilmesi için bir yol planlama (path planning) stratejisi sunmuşlardır. Gencer ve diğ. (2009) tarafından yapılan çalışmada, İHA'ların rota planlaması için bir tamsayılı programlama modelinin kullanıldığı bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Mufalli ve diğ. (2012), askeri keşif görevlerinde belirlenen hedeflerden istihbarat bilgilerini toplamak için İHA'larda kullanılan sensörlerin seçimi ile İHA'ların rotalamasını dikkate alarak basit görevler için bir matematiksel programlama modeli, daha büyük problemler için ise çeşitli sezgisel algoritmalar önermişlerdir. Ercan ve Gencer (2013), askeri operasyonlarda kullanılan heterojen (farklı kabiliyetlere sahip) İHA'ların rota planlaması için bir tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Wang ve diğ. (2014) tarafından yapılan çalışmada, farklı konumların farklı zamanlarda çeşitli görev taleplerini, sabit kanatlı heterojen İHA filosu kullanarak yerine getirmek için en uygun planlamanın/çizelgelemenin yapılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda yazarlar, İHA'ların yol planlaması için grafik tabanlı bir arama algoritması, görev çizelgeleme için ise karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli olmak üzere iki aşamalı bir yaklaşım önermişlerdir. Di Franco ve Buttazzo (2015) ise İHA'lar için yol planlama problemini enerji tüketimini dikkate alarak incelemişlerdir. Yazarlar, belirli bir alanın tüm noktalarını kapsayan bir yol bulma işlemi olan kapsama yolu planlama (coverage path planning) problemini dikkate alarak enerji tüketimini en aza indirgeyen bir yol planlama algoritması önermişlerdir. Agatz ve diğ. (2016) tarafından yapılan çalışmada, çevrimiçi olarak sipariş edilen ürünlerin teslimatını yapmak için kamyon ve İHA'nın birlikte kullanıldığı bir durum dikkate alınmıştır. Yazarlar, rota planlaması için kullanılan gezgin satıcı probleminin

İHA ile varyasyonunu geliştirerek problemin çözümü için bir doğrusal programlama modeli ile farklı sezgisel yöntemleri önermişlerdir. Yakıcı (2016), küçük İHA'ların taktiksel düzeyde konumlandırılmasının ve rotalamasının yapılması problemini tamsayılı doğrusal programlama ile formüle ederek problemin çözümü için yeni bir karınca kolonisi tabanlı bir yöntem geliştirmiştir.

İHA rotalama problemi ile ilgili birçok çalışma literatürde yer alsa da afet operasyonları yönetiminde bu problemi ele alan sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Örneğin, Mersheeva ve Friedrich (2012), afet operasyonlarında afet alanının görüntülenmesinde kullanılan İHA'ların rota planlaması için değişken komşuluk arama (variable neighborhood search) yaklaşımına dayanan bir yöntem önermişlerdir. Nedjati ve diğ. (2016) tarafından yapılan çalışma ise deprem sonrası hızlı hasar değerlendirmesi için bir müdahale sistemi sunulmuştur. Yazarlar bu sistemde, deprem alanından görüntüleri toplamak ve faydalı bilgileri elde etmek için hücre tabanlı kapsama yolu planlama (grid-based coverage path planning) problemini dikkate alarak karışık tamsayılı doğrusal programlama modelleri önermişlerdir.

Afet operasyonları yönetiminde İHA'ların kullanılmaya başlanmasıyla bu alandaki araştırmalara olan ilginin arttığı görülmektedir. Bu kapsamda, yapılan çalışmada, deprem afeti için afet operasyonları yönetiminde İHA'ların kullanımları ele alınmıştır. Afet türlerinden biri olan deprem, etkisi hızlı bir şekilde artan bir afet olduğundan, deprem sonrası durum tespiti için birçok kez havadan keşfin yapılması gerekmektedir. Deprem sonrası durumlarda hızlı hasar değerlendirmesi, diğer afetlerde de olduğu gibi müdahale faaliyetlerinde (örneğin; yaralı kişilerin tahliye edilmesi, enkaz kaldırma ve yardım dağıtımı gibi) önemli bir rol oynamaktadır. Deprem sonrası ilk 30 dakika içinde hayatta kalma oranı %91 iken ikinci günde bu oran %36,7'ye kadar düşmektedir (Qi ve diğ., 2016). Dolayısıyla, deprem sonrası durum tespiti önemli bir faktör haline gelmektedir. Deprem sonrası zemin temelli düzeltme çalışmaları, özellikle ağır hasar gören yerlerde çok fazla zaman aldığından, hava sistemleri araştırmalar için yaygın olarak kullanılmaktadır (Nedjati ve diğ., 2016).

Bu çalışmada, olası bir deprem sonrasında yer araçları kullanılarak afet bölgesine ulaşım sağlanamadığı durumlarda, afet bölgesi durum tespiti için İHA'ların kullanımı ele alınmıştır. İHA'ların, afet sonrası müdahale faaliyetleri kapsamında, belirlenen afet bölgesi alanlarının gözetlenmesi için rota planlamasının yapılması amaçlanarak kümeleme ve matematiksel programlama tabanlı bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yaklaşımda, gözetleme yapılacak bölgelerde İHA'ların kalkış ve iniş yer istasyonlarının belirlenmesi için kümelerin oluşturulması gerekmektedir. Bu amaçla, çalışma kapsamında üç farklı yöntemin kullanımı önerilmektedir. Literatürde sıklıkla kullanılan k -ortalama algoritması ve p -merkez problemi modeline ek olarak, gerçek bir problem üzerinde uygulama yapmak amacıyla Cavdur ve diğ. (2016) tarafından sunulan Geçici Afet Müdahale (GAM) tesisleri yerleşim probleminin çözümü de dikkate alınmıştır. Farklı yöntemler ile elde edilen kümeleme sonucu, İHA'ların rota planlamasında kullanılması önerilen Gezin Satıcı Problemi (GSP) modelinin girdisi olarak ele alınmaktadır. Çalışmanın sonraki bölümünde önerilen yaklaşım açıklanmaktadır. Üçüncü bölümde, önerilen yaklaşımla ilgili örnek uygulamalar ve sonuçları yer almaktadır. Dördüncü bölümde ise sonuç ve öneriler verilmektedir.

2. METODOLOJİ

Bu çalışmada, afet bölgesi alanlarında durum tespiti için kullanılacak olan İHA'ların rota planlamasının yapılması amaçlanarak kümeleme ve matematiksel programlama tabanlı bir yaklaşım önerilmektedir. Bu doğrultuda önerilen yaklaşımın adımları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Adım 1: Afet sonrası durum tespiti yapılacak alanın belirlenmesi

Adım 2: İHA'ların gözetleme yapacağı bölgelerde kalkış ve iniş yer istasyonlarının belirlenmesi

Adım 3: İHA'ların rota planlamasının yapılması

Adım 2'de yer alan İHA'ların gözetleme yapacağı bölgelerde, kalkış ve iniş yer istasyonlarının belirlenmesi için afet bölgesinde kümelerin oluşturulması gerekmektedir. Yapılacak kümelemenin amacı, birbirine yakın olan lokasyonların aynı kümeye atanmasını sağlamaktır. Bu doğrultuda, yapılan çalışmada üç farklı yöntemin kullanımı önerilmektedir. Bunlar arasında, literatürde sıklıkla kullanılan k -ortalamalar algoritması ve p -merkez problemi modeli yer almaktadır. Öte yandan, afet bölgesinin gözetlenmesinde kullanılacak olan İHA rotalarının oluşturulması için afetin ve afet bölgesinin karakteristiklerini de dikkate alan çeşitli problemlerin atama sonuçlarından elde edilen kümelerin kullanılması da söz konusu olabilir. Örneğin; barınak, çadır kent, sağlık merkezi, depo vb. tesislerin konumları ve bu tesislerin hizmet verdiği afet bölgesindeki lokasyonlar, sırasıyla, İHA yer istasyonları konumları ve İHA rotalarının oluşturulmasında kullanılan kümeleri oluşturacak şekilde dikkate alınabilir. Bu çalışmada ise k -ortalamalar algoritması ve p -merkez problemi modeli ile elde edilen kümeler kullanılarak İHA rotalarının belirlenmesine ek olarak, gerçek bir problem üzerinde uygulama yapmak amacıyla Cavdur ve diğ. (2016) tarafından sunulan GAM tesisleri yerleşim probleminin atama sonuçları da dikkate alınmıştır.

Afet bölgesinde durum tespiti yapılacak alanların kümeleneşinden sonra ilgili alanlara atanan İHA'ların, Adım 3'te yer alan rota planlamasının yapılması için GSP modeli ele alınmıştır. GSP'de bir satıcının (aracın), belirli bir noktadan başlayıp, aralarındaki uzaklıkları bilinen N adet noktadan yalnız bir kez geçerek başladığı noktaya geri dönmesi için en kısa veya en az maliyetli turun bulunması amaçlanmaktadır.

Önerilen yaklaşımda, bir İHA'nın belirli bir yer istasyonundan kalkış yaparak afet bölgesinde belirlenen noktaları (modelde düğümler olarak ifade edilmektedir) gözetledikten sonra yine aynı istasyona iniş yapması için en kısa rotanın bulunması hedeflenmektedir. Bu doğrultuda, oluşturulan modelin amaç fonksiyonu (1) ve kısıtları (2-6) aşağıda verildiği gibidir:

$$\min \sum_{i=1}^N \sum_{j|j \neq i} d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

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

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

$$t_j \geq t_i + d_{ij} - M(1 - x_{ij}), \quad \forall i, j, i \neq j \quad (4)$$

$$t_i \geq 0, \quad \forall i \quad (5)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i, j \quad (6)$$

Yukarıda verilen modelde, x_{ij} karar değişkenleri i . düğümden j . düğüme gidiliyorsa 1, aksi halde 0 değerini almaktadır. Denklem 1'de verilen amaç fonksiyonu ile İHA'nın gözetleme operasyonundaki en kısa turunun bulunması amaçlanmaktadır. Burada yer alan d_{ij} , i . düğüm ile j . düğüm arasındaki mesafeyi ifade etmektedir. Bu mesafe, İHA'ların havada hareket etmesi

sebebiyle Öklid uzaklığı kullanılarak bulunmaktadır. Denklem 2 ile her düğümden yalnız bir düğüme gidilebileceğini, Denklem 3 ile her düğüme yalnız bir düğümden gelenebileceği kısıtları sağlanmaktadır. Denklem 4'te yer alan ifade, oluşabilecek alt turları önlemekte iken Denklem 5 ve 6 ise değişken tanımlarını belirtmektedir.

2.1. k -ortalamalar Algoritması

k -ortalamalar, kümeleme problemini çözen, gözetimsiz öğrenme algoritmaları arasında olup (MacQueen, 1967) bölünmeli kümeleme yöntemleri içinde yaygın kullanılan bir algoritmadır (Kaur ve diğ., 2012). Algoritmanın, hem uygulama kolaylığı hem de zaman karmaşıklığının az olması başlıca avantajları arasında yer almaktadır (Turi, 2001).

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \|p_{ij} - c_j\|^2 \quad (7)$$

k -ortalamalar algoritması, bir veri kümesini, belirli bir sayıda küme (k adet küme) üzerinden sınıflandırmayı amaçlamaktadır. Algoritma, küme içi hataların karesinin toplamını ifade eden Denklem 7'de verilen amaç fonksiyonunu (J) minimize etmeyi hedeflemektedir. Denklem 7'de yer alan c_j ile j . küme merkezi, p_{ij} ile veri kümesi içindeki n adet noktadan j . küme içinde yer alan i . nokta temsil edilmektedir. Özetle, küme içindeki uzaklıkları minimize etmeye çalışan k -ortalamalar algoritması aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

- Adım 1: Veri kümesi k gruba (küme) ayrılır.
- Adım 2: Her kümenin ortalaması (merkez nokta) hesaplanır.
- Adım 3: Her nesne (nokta), en yakın merkez noktanın olduğu küme dahil edilir.
- Adım 4: Nesnelerin kümelenmesinde değişiklik olmayana kadar Adım 2 ve 3 tekrarlanır.

Algoritmanın ilk adımında yer alan veri kümesinin k gruba ayrılması, küme sayısının belirlenmesini ifade etmektedir. En doğru küme sayısının tahmini için farklı yaklaşımlar bulunmakla birlikte, bu çalışmada yer alan örnek uygulamada küme içi hataların karesinin toplamı dikkate alınarak küme sayısı belirlenmiştir.

2.2. p -merkez Problemi

p -merkez problemi, her talep noktası en yakın tesisten hizmet alacak şekilde p adet tesisin lokasyonunu belirlemeyi amaçlamaktadır. Bir diğer ifadeyle amaç, tüm talep noktaları için maksimum mesafeyi en aza indirmektir. p -merkez problemi, Hakimi (1965) tarafından geliştirilmiş olup problemin temel varsayımları ile model detayları aşağıda yer almaktadır:

- Tesisler yalnızca ağın düğüm noktalarına konumlandırılabilirler.
- Tesislerin kapasiteleri sınırsızdır.
- Konumlandırılacak p adet tesis bulunmaktadır.
- Talep noktaları ağın düğüm noktaları üzerindedir.
- Talep noktaları ağırlıklandırılmamaktadır.

$$\min z \quad (8)$$

$$\sum_j y_{ij} = 1, \quad \forall i \quad (9)$$

$$\sum_j x_j = p \quad (10)$$

$$y_{ij} \leq x_j, \quad \forall i, j \quad (11)$$

$$z \geq \sum_j d_{ij} y_{ij}, \quad \forall i \quad (12)$$

$$x_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \quad (13)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i, j \quad (14)$$

$$z \geq 0 \quad (15)$$

Yukarıda verilen modelde, x_j karar değişkenleri j . aday noktaya tesis konumlandırılıyorsa 1, aksi halde 0 değerini almaktadır. y_{ij} karar değişkenleri i . talep noktası j . aday noktadaki tesise atanıyorsa 1, aksi halde 0 değerini almaktadır. z değişkeni ise bir talep noktası ve hizmet aldığı tesis arasındaki maksimum mesafeyi ifade etmektedir. Modelde yer alan d_{ij} parametresi, i . talep noktası ile j . aday tesis arasındaki mesafeyi ifade ederken, p ise konumlandırılacak tesis sayısıdır. Denklem 8’de verilen amaç fonksiyonu ile talep noktaları ve hizmet aldıkları tesis arasındaki maksimum mesafe en aza indirgenmektedir. Denklem 9 ile her talep noktasının bir tesisten hizmet alması sağlanırken, Denklem 10 ile p adet tesisin konumlandırılacağı garantilenmektedir. Denklem 11, karar değişkenleri arasındaki ilişkiyi kurmaktadır. Amaç fonksiyonunda minimize edilecek maksimum mesafe ise Denklem 12’de yer alan ifade ile belirlenmektedir. Denklem 13, 14 ve 15 ise değişken tanımlarını ifade etmektedir.

2.3. GAM Tesisleri Yerleşim Problemi

GAM tesisleri, afet sonrası merkezi yardım kuruluşları afet bölgesine ulaşıncaya kadar geçen süreçte, afetzedelerin temel ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla birtakım yardım malzemelerinin depolandığı ve lokal yönetimler tarafından afet öncesinde konumlandırılan tesislerdir. GAM tesisleri yerleşim problemi ise bu tesislerin konumlarını, sayılarını, envanter düzeylerini ve afet bölgesindeki servis kararlarını belirlemeye yönelik bir problemidir.

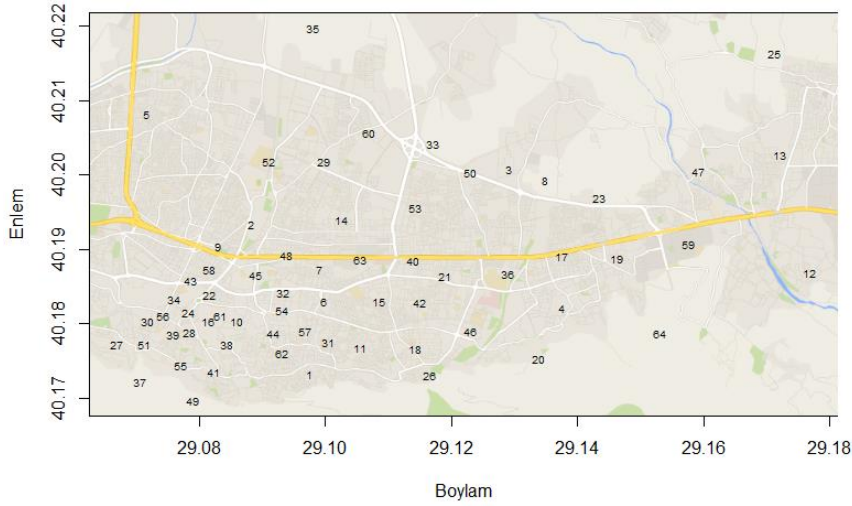
Cavdur ve diğ. (2016) tarafından, GAM tesisleri yerleşim probleminin çözümü için iki aşamalı bir stokastik programlama modeli geliştirilmiştir. Stokastik programlama modelinin amaç fonksiyonu, (i) toplam konumlandırılan tesis sayısı, (ii) toplam ağırlıklı katedilen mesafe ve (iii) karşılanamayan talep miktarı olmak üzere üç bileşenin minimizasyonunu içermektedir. Stokastik programlama modelinin ilk aşamasında tesis konumlandırma kararları ele alınırken, ikinci aşamasında bu tesislerden verilecek hizmete ilişkin kararlar dikkate alınmıştır. Bir diğer ifadeyle, GAM tesisleri yerleşim probleminin çözümü ile açılacak tesislerin konumlarının ve sayılarının yanı sıra bu tesislerden dağıtımı yapılacak olan yardım malzemelerinin akış miktarlarına da karar verilmektedir. Söz konusu stokastik programlama modelinin kısıtlarında, literatürde yer alan talep karşılama, tesis kapasitesi ve açılabilir uygun tesis sayısı kısıtlarının yanı sıra afet sonrası oluşabilecek kaos ortamında doğabilecek durumları engellemek amacıyla aşağıda bahsi geçen kısıtlar da ele alınmaktadır:

- Farklı tipteki yardım malzemelerinin birtakım uluslararası standartlara göre dengeli bir oran ile tedarik edilmesi
- Belirli bir güvenlik seviyesinin altında kalan mahallelere tesis konumlandırılmaması

- Bir mahallenin hizmet alacağı ve hizmet vereceği mahalle sayısının belirli üst sınırları aşmaması

3. ÖRNEK UYGULAMA

Metodoloji bölümünde detayları verilen yaklaşımın örneklendirilmesi amacıyla Bursa'nın Yıldırım ilçesinde bulunan 64 mahalle dikkate alınmıştır. İlgili bölgede yer alan mahallerin konumlarına ait bilgiler (enlem ve boylam), "Google Maps" aracılığıyla elde edilmiş olup mahallerin yerleşimleri Şekil 1'de gösterilmektedir.



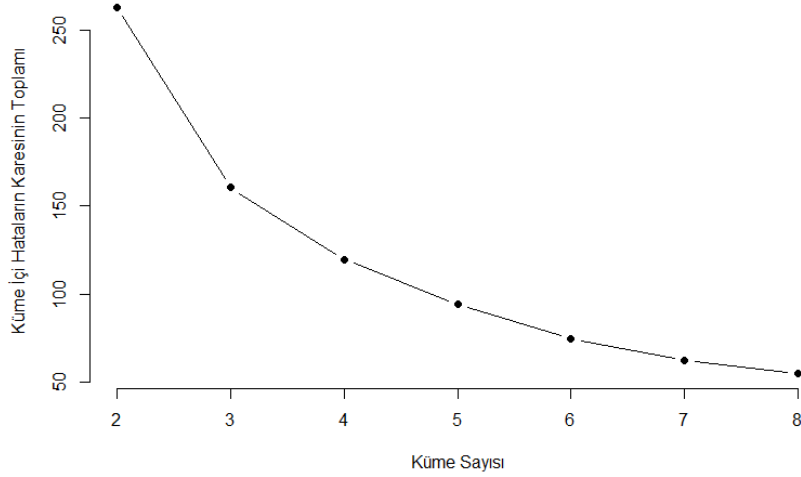
Şekil 1:
Yıldırım ilçesindeki mahallelerin yaklaşık konumları

Bu çalışmada, afet bölgesinde durum tespiti yapılacak alanların gözetlenmesinde kullanılacak İHA'ların rota planlamasının yapılabilmesi için ilgili alanların (mahallelerin) kümelenebilirliği önerilmektedir. Bu doğrultuda, ilk olarak, metodoloji bölümünde detayları verilen *k*-ortalama algoritması kullanılmıştır. *k*-ortalama algoritması, R ortamında tanımlı olan paket (kmeans) kullanılarak uygulanmıştır. Yapılan kümeleme çalışmasında kullanılan veri seti, mahallelerin enlem ve boylamlarından oluşmakta olup en iyi küme sayısının belirlenmesi için küme içi hataların karelerinin toplamı dikkate alınmıştır. Şekil 2'de görüldüğü gibi küme sayısı arttıkça küme merkezlerine olan uzaklık azaldığından küme içi hataların karelerinin toplamının da sürekli azalması beklenmektedir. Dolayısıyla, en düşük hata değerine sahip küme sayısının alınması yerine, hata değerinin ani düşüş yaptığı ilk nokta küme sayısı olarak belirlenebilir. Bu doğrultuda, Şekil 2'de yer alan grafikte hata değerlerine göre en iyi küme sayısının 3 ya da 4 olduğu görüldüğünden, yapılan çalışmada küme sayısı 4 olarak belirlenmiştir. Küme sayısının belirlenmesinden sonra veri seti 4 kümeye bölünerek mahaller kümelere atanmıştır.

k-ortalama algoritması ile elde edilen kümeleme sonucu, İHA'ların rota planlamasında kullanılması önerilen GSP modelinin girdisi olarak ele alınmaktadır. İHA'ların rota planlamasında dikkate alınan genel varsayımlar ise aşağıdaki gibidir:

- İHA'ların afet bölgesi alanlarını gözetlerken teknolojik altyapının yeterli olduğu ve toplanan tüm bilgilerin ilgili afet yönetim merkezlerine ulaştığı varsayılmıştır.
- İHA'ların, farklı büyüklükteki mahalleleri gözetlemek için harcadığı süreler ihmal edilmiştir.
- Çalışma kapsamında, İHA'ların tüm mahallelere ulaşabilecek teknik yeterliliğe sahip olduğu varsayılmıştır.

Çalışma kapsamında, k -ortalamalar algoritması ile elde edilen kümeleme sonucuna göre belirlenen her küme için ilgili kümede yer alan ve kümenin merkezine en yakın olan mahalle, İHA yer istasyonu olarak dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda Tablo 1’de, k -ortalamalar algoritmasına göre elde edilen kümelerdeki İHA yer istasyonları ve ilgili kümelere ait mahalleler verilmiştir.



Şekil 2:

Küme sayısına göre küme içi hataların karelerinin toplamı

Tablo 1. İHA yer istasyonları ve gözetlenecek mahalleler (k -ortalamalar)

Küme	Yer İstasyonu	Gözetlenecek Mahalleler
01	07	01, 02, 06, 11, 14, 15, 29, 31, 32, 35, 44, 45, 48, 52, 54, 57, 60, 62, 63
02	21	03, 04, 08, 17, 18, 20, 26, 33, 36, 40, 42, 46, 50, 53
03	24	05, 09, 10, 16, 22, 27, 28, 30, 34, 37, 38, 39, 41, 43, 49, 51, 55, 56, 58, 61
04	59	12, 13, 19, 23, 25, 47, 64

Yer istasyonlarının ve gözetlenecek mahallelerin, GSP modelinde girdi olarak kullanılmasıyla Tablo 2’de yer alan rotalar ve her bir rota için İHA’ların aldığı toplam mesafeler elde edilmiştir.

Tablo 2. GSP modeli sonucu (k -ortalamalar)

Yer İstasyonu	Gözetlenen Mahalle Sayısı	Rota	Toplam Mesafe (km)
07	19	07-06-15-11-31-57-01-62-44-54-32-45-48-02-52-35-60-29-14-63-07	14,31
21	14	21-42-18-26-46-20-04-36-17-08-03-50-33-53-40-21	11,29
24	20	24-34-43-05-09-58-22-16-61-10-38-41-49-55-37-27-51-30-56-39-28-24	11,95
59	7	59-12-13-25-47-23-19-64-59	12,20

Afet bölgesinde durum tespiti yapılacak alanların gözetlenmesinde kullanılacak İHA'ların rota planlamasının yapılabilmesi için ilgili alanların (mahallelerin) kümelenmesinin önerildiği bu çalışmada, ilk olarak, k -ortalamalar algoritması sonuçları verilmiştir. Öte yandan, "Metodoloji" bölümünde detayları verilen p -merkez problemi modelinin de uygulanmasıyla kümeler ve ilgili kümeler ait rotalar elde edilmiştir. p -merkez problemi modeli ile elde edilen kümeleme sonucuna göre İHA yer istasyonları olarak atanan küme merkezleri ile ilgili istasyonlarda yer alan İHA'lar tarafından gözetlenecek mahalleler Tablo 3'te yer almaktadır.

Tablo 3. İHA yer istasyonları ve gözetlenecek mahalleler (p -merkez)

Küme	Yer İstasyonu	Gözetlenecek Mahalleler
01	13	12, 25, 47, 59
02	36	03, 04, 08, 17, 19, 20, 21, 23, 33, 40, 42, 46, 50, 64
03	52	02, 05, 29, 32, 35, 45, 48, 53, 54, 60
04	62	01, 06, 07, 09, 10, 11, 14, 15, 16, 18, 22, 24, 26, 27, 28, 30, 31, 34, 37, 38, 39, 41, 43, 44, 49, 51, 55, 56, 57, 58, 61, 63

Yer istasyonlarının ve gözetlenecek mahallelerin, GSP modelinde girdi olarak kullanılmasıyla Tablo 4'te yer alan rotalar ve her bir rota için İHA'ların aldığı toplam mesafeler elde edilmiştir.

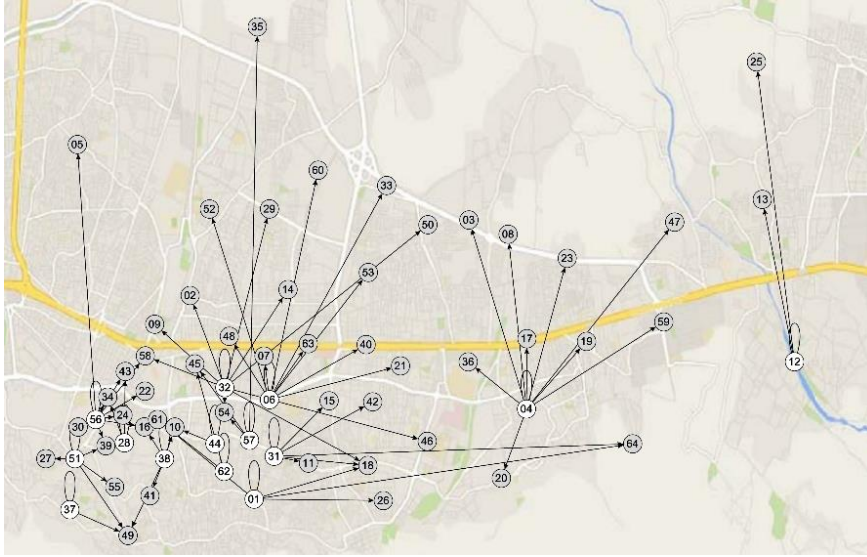
Tablo 4. GSP modeli sonucu (p -merkez)

Yer İstasyonu	Gözetlenen Mahalle Sayısı	Rota	Toplam Mesafe (km)
13	4	13-12-59-47-25-13	8,23
36	14	36-17-04-20-64-19-23-08-03-50-33-40-21-42-46-36	13,53
52	10	52-05-35-60-29-53-48-32-54-45-02-52	13,70
62	32	62-38-41-49-55-37-27-51-30-56-39-28-24-34-43-09-58-22-16-61-10-44-57-06-07-14-63-15-18-26-11-31-01-62	16,14

k -ortalamalar algoritması ve p -merkez problemi modeli ile elde edilen sonuçlara ek olarak, afetin ve afet bölgesinin karakteristiklerini de dikkate alan gerçek bir problem üzerinde uygulama yapmak amacıyla, "Metodoloji" bölümünde detayları sunulan GAM tesisleri yerleşim probleminin atama sonuçları da dikkate alınmıştır. Cavdur ve diğ. (2016), Bursa'nın Yıldırım ilçesinde bulunan 64 mahallenin deprem sonrası yardım malzemesi talebini (su, gıda ve medikal malzeme) karşılamak için GAM tesisleri yerleşim problemini farklı senaryolar altında incelemişlerdir. Bu çalışma kapsamında ise Şekil 3'te görüldüğü gibi yazarlar tarafından oluşturulan talep karşılama oranının yüksek olduğu durumdaki çözüm ele alınmıştır. Burada, Yıldırım ilçesinde yer alan 64 mahallenin deprem sonrası yardım talebini karşılamak için şekilde açık renk ile gösterilen 14 adet farklı mahalleye GAM tesisi konumlandırılmıştır.

Bu çalışmada, Cavdur ve diğ. (2016) tarafından yapılan çalışmada yer alan mahalleler, afet bölgesi durum tespiti için İHA'ların rota planlamasında kullanılmıştır. Bu örnek uygulama için İHA'ların rota planlamasında dikkate alınan bazı varsayımlar ise aşağıdaki gibidir:

- Ele alınan örnek çözümde (Cavdur ve diğ., 2016), anlamlı rotaların oluşturulabilmesi için en az iki mahalleye hizmet veren GAM tesisinin bulunduğu mahalleler dikkate alınarak ilgili mahallelerin İHA'lar için yer istasyonu olduğu varsayılmıştır. Bu doğrultuda, GAM tesisinin bulunduğu 37 ve 44 numaralı mahalleler ve ilgili mahallelerin hizmet verdiği mahalleler (sırasıyla, 49 ve 10) için rotalama yapılmamıştır.
- Bir mahallenin birden fazla GAM tesisinden hizmet alması durumunda, ilgili mahallenin en az sayıda mahalleye hizmet veren tesisten yardım aldığı varsayılmıştır. Böylece, farklı yer istasyonlarından kalkış yapan İHA'ların aynı anda aynı mahallelere atanması engellenmiştir.
- GAM tesislerinin bulunduğu mahallelerin, sadece İHA yer istasyonu olarak kullanıldığı varsayıp, ilgili mahalleler gözetleme operasyonlarına dahil edilmemiştir.
- İHA'lar için k -ortalamalar algoritmasıyla kümeleme yapılırken ele alınan genel varsayımlar burada da dikkate alınmıştır.



Şekil 3:

Talep karşılama oranının yüksek olduğu durumdaki çözüm (Cavdur ve diğ., 2016)

İHA'ların rota planlamasında dikkate alınan varsayımlar doğrultusunda, 37 ve 44 numaralı mahallelerin rota kapsamına dahil edilmemesi nedeniyle, GAM tesislerinin bulunduğu geriye kalan 12 adet mahalle İHA'ların yer istasyonu olarak belirlenmiştir. İHA'lar tarafından gözetlenecek mahalleler de Şekil 3'te koyu renk ile gösterilen düğümlere karşılık gelmektedir. Bu doğrultuda, İHA yer istasyonları ve gözetlenecek mahalleler Tablo 5'te yer almaktadır. Çalışma kapsamında dikkate alınan yer istasyonları ve gözetlenecek mahallelerin, GSP modelinde girdi olarak kullanılmasıyla Tablo 6'da yer alan rotalar ve toplam mesafeler elde edilmiştir.

Çalışma kapsamında, yukarıda da bahsedildiği gibi İHA'ların gözetleme yapacağı bölgelerde kalkış ve iniş yer istasyonlarının belirlenmesi için afet bölgesinde kümelerin oluşturulması amacıyla üç farklı yöntem kullanılmıştır. Bunlar (i) k -ortalamalar algoritması, (ii) p -merkez problemi modeli ve (iii) GAM tesisleri yerleşim problemi modelidir. Bu yöntemler ile elde edilen kümeleme sonucu ise İHA'ların rota planlamasında kullanılması önerilen GSP modelinin girdisi olarak ele alınmıştır. Her bir yöntemde ele alınan kümeler ve elde edilen rotalara ilişkin değerlendirmeler Tablo 7'de özetlenmiştir.

Tablo 5. İHA yer istasyonları ve gözetlenecek mahalleler (GAM tesisleri yerleşimi)

Yer İstasyonu	Gözetlenecek Mahalleler	Yer İstasyonu	Gözetlenecek Mahalleler
01	18, 26, 64	32	02, 09, 14, 29, 46, 50
04	03, 08, 17, 19, 20, 23, 36, 47, 59	38	16, 41
06	07, 21, 33, 40, 48, 52, 53, 60, 63	51	27, 39, 55
12	13, 25	56	05, 22, 24, 30, 58
28	34, 43	57	35, 54
31	11, 15, 42	62	45, 61

Tablo 6. GSP modeli sonucu (GAM tesisleri yerleşimi)

Yer İstasyonu	Gözetlenen Mahalle Sayısı	Rota	Toplam Mesafe (km)
01	3	01-26-64-18-01	9,80
04	9	04-17-19-59-47-23-08-03-36-20-04	10,19
06	9	06-63-40-21-53-33-60-52-48-07-06	8,91
12	2	12-13-25-12	6,64
28	2	28-34-43-28	1,68
31	3	31-15-42-11-31	3,00
32	6	32-09-02-29-14-50-46-32	11,01
38	2	38-16-41-38	1,64
51	3	51-27-55-39-51	2,19
56	5	56-24-22-58-05-30-56	6,93
57	2	57-35-54-57	9,21
62	2	62-45-61-62	3,04

Tablo 7. Farklı yöntemlerle elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Yöntem	İHA (Küme) Sayısı	En Kısa Mesafe (km)	En Uzun Mesafe (km)	Ortalama Mesafe (km)
<i>k</i> -ortalamalar Algoritması	4	11,29	14,31	12,44
<i>p</i> -merkez Problemi	4	8,23	16,14	12,90
GAM Tesisleri Yerleşim Problemi	12	1,64	11,01	6,19

k -ortalamalar algoritması ve p -merkez problemi modelinde 4 adet İHA kullanılırken GAM tesisleri yerleşim probleminde 12 adet İHA kullanılmıştır. GSP modeli sonucu elde edilen rotalar incelendiğinde ise GAM tesisleri yerleşim problemi ile elde edilen sonuçlarda daha fazla sayıda küme ve dolayısıyla daha fazla sayıda İHA olması nedeniyle, oluşturulan en kısa ve en uzun rotaların diğer yöntemlere göre daha kısa olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, GAM tesisleri yerleşim probleminin dikkate alındığı durumda daha fazla sayıda İHA olması nedeniyle ilgili yöntemde diğer yöntemlere göre İHA'ların aldığı ortalama mesafe daha düşüktür. k -ortalamalar algoritması ve p -merkez problemi modeli ile elde edilen sonuçlarda ise kümelerin az sayıda ancak daha büyük olduğu göz önüne alındığında oluşturulan en kısa ve en uzun rotalar da daha uzun olmaktadır. Öte yandan, GAM tesisleri yerleşim problemi sonuçlarının ele alındığı durumda İHA'ların kalkış ve iniş yapacağı yer istasyonlarının belirlenmesi için afetin ve afet bölgesinin karakteristiklerini de dikkate alan kapsamlı bir modelin sonucu kullanılmaktadır. Dolayısıyla, burada farklı yaklaşımların farklı açılardan avantajları ve dezavantajları öne çıkmaktadır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Afetlerin, ciddi hasarlara ve ekonomik kayıplara neden olan yıkıcı etkileri olduğundan, bu etkilerin azaltılması için önlemler geliştirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, afet öncesi ve afet sonrası faaliyetleri içeren afet operasyonları yönetimine olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Bir afetten sonraki ilk birkaç saat hayati önem taşıdığından, arama ve kurtarma operasyonları için afet sonrası durum tespitinin mümkün olduğunca hızlı yapılması gerekmektedir. Bu doğrultuda İHA'lar; yüksek verimlilik, hassasiyet, esneklik ve düşük maliyet avantajlarından dolayı son yıllarda afet operasyonları yönetiminde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yapılan çalışmada, olası bir deprem sonrası durum tespiti için İHA'ların kullanımı dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda, afet bölgesinin gözetlenmesinde en kısa rotanın/rotaların bulunması amaçlanarak İHA rota planlaması için kümeleme ve matematiksel programlama tabanlı bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yaklaşımın örneklendirilmesi amacıyla bir sayısal örnek ele alınmış olup farklı konumlardaki yer istasyonlarında bulunan İHA'ların afet bölgesini gözetlemeleri için k -ortalamalar kümeleme algoritması ve p -merkez problemi modeli sonucunun GSP modeline girdi oluşturması ile İHA rotaları belirlenmiştir. Bu yöntemlere ek olarak, gerçek bir problem üzerinde uygulama yapmak amacıyla Cavdur ve diğ. (2016) tarafından sunulan GAM tesisleri yerleşim problemi de ele alınmıştır. Cavdur ve diğ. (2016) tarafından yapılan çalışmada elde edilen GAM tesisleri konumları ve bu tesislerin hizmet verdiği konumlar dikkate alınarak İHA yer istasyonları ve gözetlenecek mahallelerin kümeleri belirlenmiştir.

Çalışmada kapsamında, İHA'ların aldıkları toplam mesafeyi minimize edecek rotalar belirlenmiştir. Gelecek çalışmalarda ise İHA'ların afet bölgesi gözetleme operasyonlarında kapsama problemini de dikkate alan bir rota planlamasının yapılması hedeflenmektedir. Buna ek olarak, afet operasyonları yönetiminde, heterojen İHA'ların ele alınması, problem kapsamının ağ tasarımını da içerecek şekilde genişletilmesi, farklı İHA operasyon tiplerinin dikkate alınması, çeşitli rotalama yaklaşımlarının geliştirilmesi vb. gelecek çalışmalar kapsamında değerlendirilebilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 115M020 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Agatz, N., Bouman, P. ve Schmidt, M. (2016) Optimization approaches for the traveling salesman problem with drone, *ERIM Report Series Research in Management*. doi:10.2139/ssrn.2639672
2. Altay, N. ve Green, W. G. (2006) OR/MS research in disaster operations management, *European Journal of Operational Research*, 175(1), 475-493. doi:10.1016/j.ejor.2005.05.016
3. Bendea, H., Boccardo, P., Dequal, S., Giulio Tonolo, F., Marenchino, D. ve Piras, M. (2008) Low cost uav for post-disaster assessment, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(B8), 1373-1379.
4. Bravo, R. ve Leiras, A. (2015) Literature review of the application of uavs in humanitarian relief, *XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Producao*, 13-16 October, Fortaleza, Brazil, 1-15.
5. Camara, D. (2014) Cavalry to the rescue: Drones fleet to help rescuers operations over disasters scenarios, *IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications (CAMA)*, 16-19 November, Antibes Juan-les-Pins, France, 1-4. doi:10.1109/CAMA.2014.7003421
6. Cavdur, F., Kose-Kucuk, M. ve Sebatli, A. (2016) Allocation of temporary disaster response facilities under demand uncertainty: An earthquake case study, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 19, 159-166. doi:10.1016/j.ijdr.2016.08.009
7. Di Franco, C. ve Buttazzo, G. (2015) Energy-aware coverage path planning of uavs, *IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC)*, 8-10 April, Vila Real, Portugal, 111-117. doi:10.1109/ICARSC.2015.17
8. Ercan, C. ve Gencer, C. (2013) An integer programming model for the heterogeneous uav fleet routing problems”, *Savunma Bilimleri Dergisi*, 12(2), 119-144.
9. Galindo, G. ve Batta, R. (2013) Review of recent developments in or/ms research in disaster operations management, *European Journal of Operational Research*, 230(2), 201-211. doi:10.1016/j.ejor.2013.01.039
10. Gencer, C., Aydoğan, E. K. ve Kocabaş, S. (2009) İnsansız hava araçlarının rota planlaması için bir karar destek sistemi, *Savunma Bilimleri Dergisi*, 8(1).
11. Hakimi, S. L. (1965) Optimum distribution of switching centers in a communication network and some related graph theoretic problems, *Operations Research*, 13(3), 462-475. doi:10.1287/opre.13.3.462
12. Kaur, N., Sahiwal, J. K. ve Kaur, N. (2012) Efficient K-means clustering algorithm using ranking method in data mining, *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)*, 1(3), 85.
13. Lee, J., Huang, R., Vaughn, A., Xiao, X., Hedrick, J. K., Zennaro, M. ve Sengupta, R. (2003) Strategies of path-planning for a uav to track a ground vehicle, *AINS Conference*.
14. Liu, P., Chen, A. Y., Huang, Y. N., Han, J. Y., Lai, J. S., Kang, S. C., Wu, T. H., Wen, M. C. ve Tsai, M. (2014) A review of rotorcraft unmanned aerial vehicle (uav) developments and applications in civil engineering, *Smart Structures and Systems*, 13(6), 1065-1094. doi:10.12989/sss.2014.13.6.1065
15. Luo, C., Nightingale, J., Asemota, E. ve Grecos, C. (2015) A uav-cloud system for disaster sensing applications, *Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, 11-14 May, Glasgow, Scotland, 1-5. doi:10.1109/VTCSpring.2015.7145656

16. MacQueen, J. (1967) Some methods for classification and analysis of multivariate observations, *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, 1(14), 281-297.
17. Mersheeva, V. ve Friedrich, G. (2012) Routing for continuous monitoring by multiple micro uavs in disaster scenarios, *20th European Conference on Artificial Intelligence*, 27-31 August, Montpellier, France, 588-593. doi:10.3233/978-1-61499-098-7-588
18. Mufalli, F., Batta, R. ve Nagi, R. (2012) Simultaneous sensor selection and routing of unmanned aerial vehicles for complex mission plans, *Computers & Operations Research*, 39(11), 2787-2799. doi:10.1016/j.cor.2012.02.010
19. Mukherjee, A., Chakraborty, S., Azar, A. T., Bhattacharyay, S. K., Chatterjee, B. ve Dey, N. (2014) Unmanned aerial system for post disaster identification, *International Conference on Circuits, Communication, Control and Computing (I4C)*, 21-22 November, Bangalore, India, 247-252. doi:10.1109/CIMCA.2014.7057799
20. Natarajarathinam, M., Capar, I. ve Narayanan, A. (2009) Managing supply chains in times of crisis: A review of literature and insights, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 39(7), 535-573. doi:10.1108/09600030910996251
21. Nedjati, A., Izbirak, G., Vizvari, B. ve Arkat, J. (2016) Complete coverage path planning for a multi-uav response system in post-earthquake assessment, *Robotics*, 5(4), 26-41. doi:10.3390/robotics5040026
22. Qi, J., Song, D., Shang, H., Wang, N., Hua, C., Wu, C., Qi, X. ve Han, J. (2016) Search and rescue rotary-wing uav and its application to the lüshān ms 7.0 earthquake, *Journal of Field Robotics*, 33(3), 290-321. doi:10.1002/rob.21615
23. Quaritsch, M., Kruggl, K., Wischounig-Strucl, D., Bhattacharya, S., Shah, M. ve Rinner, B. (2010) Networked uavs as aerial sensor network for disaster management applications, *Elektrotechnik & Informationstechnik*, 127(3), 56-63. doi:10.1007/s00502-010-0717-2
24. Restas, A. (2015) Drone applications for supporting disaster management, *World Journal of Engineering and Technology*, 3(03), 316-321. doi:10.4236/wjet.2015.33C047
25. Tuna, G., Nefzi, B. ve Conte, G. (2014) Unmanned aerial vehicle-aided communications system for disaster recovery, *Journal of Network and Computer Applications*, 41, 27-36. doi:10.1016/j.jnca.2013.10.002
26. Turi, R. H. (2001) Clustering-based colour image segmentation, *PhD Thesis*, Monash University.
27. Van Wassenhove, L. N. (2006) Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear, *Journal of the Operational Research Society*, 57(5), 475-489. doi:10.1057/palgrave.jors.2602125
28. Wang, J. J., Zhang, Y. F., Geng, L., Fuh, J. Y. ve Teo, S. H. (2014) Mission planning for heterogeneous tasks with heterogeneous uavs, *13th International Conference on Control Automation Robotics & Vision (ICARCV)*, 10-12 December, Singapore, Singapore, 1484-1489. doi:10.1109/ICARCV.2014.7064535
29. What is a disaster?. Erişim Adresi: <http://www.ifrc.org/en/what-we-do/disaster-management/about-disasters/what-is-a-disaster/> (Erişim Tarihi: 01.01.2018)
30. Xu, Z., Yang, J., Peng, C., Wu, Y., Jiang, X., Li, R., Zheng, Y., Gao, Y., Liu, S. ve Tian, B. (2014) Development of an uas for post-earthquake disaster surveying and its application in ms7. 0 lüshān earthquake, Sichuan, China, *Computers & Geosciences*, 68, 22-30. doi:10.1016/j.cageo.2014.04.001

31. Yakıcı, E. (2016) Solving location and routing problem for uavs, *Computers&Industrial Engineering*, 102, 294-301. doi:10.1016/j.cie.2016.10.029