

Jandarma ve Sahil Güvenlik Akademisi

Güvenlik Bilimleri Enstitüsü

Güvenlik Bilimleri Dergisi, Mayıs 2025, Cilt:14, Sayı:1, 111-138

doi: 10.28956/gbd.1571370

Gendarmerie and Coast Guard Academy

Institute of Security Sciences

Journal of Security Sciences, May 2025, Volume:14, Issue:1, 111-138

doi: 10.28956/gbd.1571370

Makale Türü ve Başlığı / Article Type and Title

Araştırma / Research Article

Düzensiz Göç Hareketlerinin Tespitinde İHAS Kullanımı: İHAS Üslerinin Tespiti ve Uçuş Devriyelerin Belirlenmesi

Utilizing UAS for Detecting Irregular Migration Movements: Establishing UAS Bases and Determining Patrol Flight Routes

Yazar(lar) / Writer(s)

Danışment VURAL, Dr. Öğr. Üyesi, Atılım Üniversitesi, Türkiye,

danishment.vural@atilim.edu.tr, ORCID: 0000-0003-4028-3810

Bilgilendirme / Acknowledgement:

-Yazarlar aşağıdaki bilgilendirmeleri yapmaktadırlar:

-Makalemizde etik kurulu izni ve/veya yasal/özel izin alınmasını gerektiren bir durum yoktur.

-Bu makalede araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Bu makale Turnitin tarafından kontrol edilmiştir.

This article was checked by Turnitin.

Makale Geliş Tarihi / First Received : 21.10.2024

Makale Kabul Tarihi / Accepted : 30.05.2025

Atıf Bilgisi / Citation:

Vural D., (2024). Düzensiz Göç Hareketlerinin Tespitinde İHAS Kullanımı: İHAS Üslerinin Tespiti ve Uçuş Devriyelerin Belirlenmesi, *Güvenlik Bilimleri Dergisi*, 14(1), ss 111-138. doi: 10.28956/gbd.1571370

“Makalenin bir bölümü 8-9 Mayıs 2024 tarihlerinde düzenlenen Uluslararası Güvenlik Sempozyumu (1923’ten 2023’e Türkiye Yüzyılında Güvenlik Perspektifi)’nda sunulmuştur.”

This work is licensed under Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.



DÜZENSİZ GÖÇ HAREKETLERİNİN TESPİTİNDE İHAS KULLANIMI: İHAS ÜSLERİNİN TESPİTİ VE UÇUŞ DEVRİYELERİN BELİRLENMESİ

Öz

Uluslararası göç; küreselleşen dünyada sosyal, politik ve ekonomik açıdan toplumları derinden etkileyen önemli bir olgu hâline gelmiştir. Özellikle son dönemde artan göç hareketleri, hedef ülkelerin güvenlik politikalarını sıkılaştırmasına neden olmaktadır. Düzensiz göçün engellenmesi için güvenlik sistemlerinin ve güvenlik birimlerinin etkili bir şekilde çalışması gerekmektedir. Bu bağlamda, İnsansız Hava Aracı Sistemleri (İHAS) geniş alanları hızlı tarayabilme, yüksek çözünürlüklü görüntüler sağlama ve uzun süre havada kalabilme gibi avantajlarıyla önemli bir rol oynamaktadır. Ülkemizin İHAS teknolojisinde dünya çapında lider olması, düzensiz göçün önlenmesine büyük bir katkı sağlamaktadır. Çalışmanın ana odak noktası, düzensiz göç güzergâhlarını izlemek amacıyla İHAS'ların kullanımını ele almaktadır. Bu kapsamda, İHAS'ların konumlandırılması ve uçuş rotalarının matematiksel modeller kullanılarak belirlenmesi konuları incelenmiştir. İHAS'lar genellikle üç ila altı İHA'dan oluşur ve belirlenen hava üslerine konuşlandırılır. Uygun üs ve güzergâh seçimi, sistemin etkinliği açısından kritik öneme sahiptir. Yanlış seçimler, keşif faaliyetlerinin verimsiz olmasına yol açabilir. Çalışma kapsamında oluşturulan jenerik senaryoda, İHAS üs bölgesinin seçimi ve İHA uçuşlarının güzergâh rotalaması karışık tam sayılı programlama ile modellenmiş ve GAMS optimizasyon yazılımı ile sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Düzensiz Göç, İnsansız Hava Araçları, Matematiksel Model, Karışık Tam Sayılı Programlama, Yerleştirme ve Rotalama Problemi.

UTILIZING UAS FOR DETECTING IRREGULAR MIGRATION MOVEMENTS: ESTABLISHING UAS BASES AND DETERMINING PATROL FLIGHT ROUTES

Abstract

International migration has become a significant phenomenon in the globalized world, profoundly affecting societies on social, political, and economic levels. The recent increase in migration movements especially has prompted target countries to tighten their security policies. Effective prevention of irregular migration requires the coordinated efforts of security systems and units. In this context, Unmanned Aerial Systems (UAS) are crucial due to their ability to quickly scan large areas, provide high-resolution images, and sustain long flight durations. Türkiye's leadership in UAS technology plays a pivotal role in mitigating irregular migration. This study explores the use of UAS to monitor irregular migration routes, focusing on the positioning of UAS and the determination of flight routes using mathematical models. Typically, UAS consists of three to six Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and are deployed at designated airbases. The appropriate selection of bases and routes is vital for system effectiveness; as incorrect choices can lead to inefficiencies in reconnaissance operations. In the generic scenario developed in the study, the selection of UAS bases and the routing of UAV flights were modeled using mixed-integer programming and optimized with GAMS software. The results minimized the total distance traveled and maximized the time allocated for aerial reconnaissance activities.

Keywords: Irregular Migration, Unmanned Aircraft Systems, Mathematical Model, Mixed-Integer Programming, Location Routing Problem.

GİRİŞ

Uluslararası göç, günümüzde küresel ölçekte sosyal, politik ve ekonomik dinamikleri etkileyen önemli bir olgu olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle son yıllarda artan düzensiz göç hareketleri, birçok ülkenin sınır güvenliğini ve iç güvenlik politikalarını yeniden şekillendirmesine neden olmuştur. Düzensiz göç, insanların gerekli yasal izinler ve belgeler olmaksızın başka bir ülkeye girmesini ifade etmekte ve bu durum hem göçmenler hem de göç alan ülkeler için çeşitli zorluklar ve riskler barındırmaktadır. Göçmenlerin karşılaştığı sağlık ve güvenlik riskleri, hukuki belirsizlikler ve sosyal kırılganlıklar, düzensiz göçün yarattığı sorunların başında gelmektedir (Özcan, 2015).

Düzensiz göçün önlenmesi ve yönetilmesi, güvenlik sistemleri ve birimlerinin koordineli çalışmasını gerektirmektedir. Bu bağlamda İnsansız Hava Aracı Sistemleri (İHAS); geniş alanları hızlı bir şekilde tarayabilme, yüksek çözünürlüklü görüntüler sağlayabilme ve uzun süreli havada kalabilme yetenekleri sayesinde düzensiz göç hareketlerinin tespitinde ve izlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır (Mehta vd., 2020). Ülkemiz, İHAS teknolojisinde dünya çapında öncü bir konumda olup bu sistemler sınır güvenliğinde ve düzensiz göçün tespit edilerek önlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Geniş kapsama alanı, gelişmiş izleme yetenekleri ve kesintisiz operasyonel kapasitesi sayesinde İHAS'lar düzensiz göç hareketlerinin erken aşamada tespit edilmesine ve güvenlik birimlerinin daha etkin müdahalede bulunmasına olanak tanımaktadır (Yetgin ve Baştuğ, 2021).

Bu çalışma, düzensiz göç güzergâhlarının izlenmesi amacıyla İHAS'ların kullanımını ele almaktadır. İHAS'ların konumlandırılması ve uçuş rotalarının matematiksel modeller kullanılarak belirlenmesi, sistemin etkinliğinin artırılması açısından büyük önem taşımaktadır. Yanlış üs ve güzergâh seçimi ise keşif faaliyetlerinin verimsiz olmasına yol açabilir. Bu nedenle İHAS üs bölgesinin seçimi ve İHA uçuşlarının güzergâh rotalaması karışık tam sayılı programlama ile Yer Seçimi ve Rotalama Problemi (YSRP) olarak modellenmiş ve GAMS optimizasyon yazılımı ile sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışmanın amacı; İHAS üslerinin gelen gözetleme taleplerini karşılayacak şekilde en uygun konumlarını tespit etmek ve bu konumlardan İHA'ların en verimli uçuş rotalarını belirleyerek düzensiz göç hareketlerinin etkin bir şekilde izlenmesini sağlamaktır. Bu bağlamda, stratejik olarak konumlandırılmış İHAS üsleri ve optimize edilmiş uçuş rotaları, sınır güvenlik güçlerinin operasyonel verimliliğini artırmakta ve düzensiz göçmenlerin tespit edilme olasılığını

yükseltmektedir. İHAS'ların sağladığı gerçek zamanlı veri iletimi sayesinde sınır güvenlik güçleri, anında müdahale edebilecek ve daha etkin önlemler alınabilecektir.

Bu çalışmanın bulguları, İHAS teknolojisinin düzensiz göçle mücadeledeki potansiyelini ortaya koyarken gelecekteki araştırmalara ve uygulamalara ışık tutmayı hedeflemektedir. İHAS'ların kullanım alanlarının genişlemesi ve teknolojik gelişmelerle birlikte düzensiz göçün yönetilmesi ve sınır güvenliğinin sağlanmasında daha etkili çözümler geliştirilebileceği öngörülmektedir.

Bu çalışmanın özgünlüğü İHAS yer seçimi ve güzergâh optimizasyonuna yönelik geliştirilmiş bir matematiksel model sunmasıdır. Literatürde İHAS'ların sınır güvenliği bağlamında kullanımına yönelik çeşitli araştırmalar mevcut olsa da bu çalışma, YSRP'yi karışık tam sayılı programlama ile çözüme kavuşturarak sınır güvenliği operasyonlarında daha verimli ve optimize edilmiş bir yaklaşım geliştirmektedir.

Makalenin birinci bölümünde; düzensiz göç hareketlerinin ve bunların arkasındaki nedenlerin ayrıntılı bir analizi yapılmış, ardından ikinci bölümde İHAS teknolojisinin gelişimi ve farklı kullanım alanları ele alınmıştır. Müteakiben üçüncü bölümde, İHAS'ların düzensiz göç hareketlerinin tespiti ve izlenmesindeki rolü incelenerek İHAS üslerinin belirlenmesi ve uçuş devriyelerinin tespitine yönelik matematiksel modeller ve optimizasyon stratejileri tartışılmıştır. Dördüncü bölümde; İHAS üslerinin belirlenmesi ve uçuş devriyelerinin oluşturulması ile ilgili kavramlar ele alınmış, beşinci bölümde YSRP konusu incelenmiş, altıncı bölümde ise örnek bir uygulama yapılmıştır. Yedinci ve son bölümde ise elde edilen bulgular tartışılmıştır.

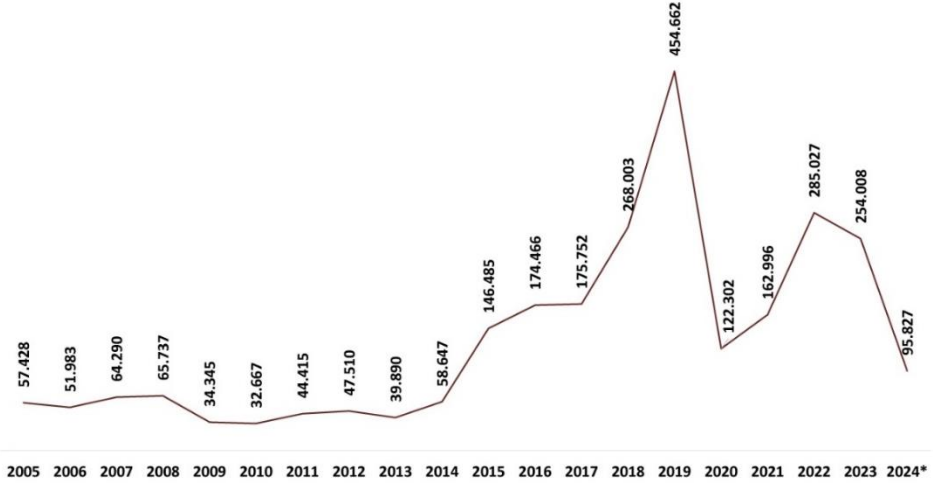
1. DÜZENSİZ GÖÇ HAREKETLERİ VE SORUNLARI

Günümüzde düzensiz göç, küresel ölçekte hem insanlar hem de devletler için önemli bir mesele hâline gelmiştir. Çeşitli ekonomik, politik, sosyal ve çevresel faktörler bu hareketliliği şekillendirmekte sonuçları ise bireyler ve toplumlar üzerinde çok boyutlu etkiler yaratmaktadır.

1.1. Düzensiz Göç Nedir?

Düzensiz göç, insanların hedef ülkenin gerekli izinleri veya belgeleri olmadan sınırları geçmesidir. Bu; ülkeye yasal izin olmadan girmek, vize süresini aşmak veya izinsiz çalışmak gibi durumları da kapsayabilir. Yasal göçten farklı olarak düzensiz göç genellikle gizli yollarla ve yöntemlerle gerçekleşmektedir. Bu tür

göç hem göçmenler hem de ilgili ülkeler için ciddi zorluklar oluşturmakta ve genellikle tehlikeli yolculuklar ve hukuki belirsizlikler içermektedir (Alakuş ve Uzan, 2020). Şekil 1’de 06.06.2024 itibariyle 2005-2024 yılları arasında ülkemizde yakalanan düzensiz göçmen sayısı görülmekte ve konunun ne denli öneme sahip olduğu belli olmaktadır.



Şekil-1. Yıllara Göre Yakalanan Düzensiz Göçmen Sayısı (Göç İdaresi Başkanlığı, 2024)

1.2. Düzensiz Göçün Nedenleri

Düzensiz göçün arkasındaki nedenler karmaşık ve çok boyutludur. Bireyleri bu tür riskli yolculuklara iten birkaç ana faktör bulunmaktadır (Tunca ve Karadağ, 2020):

1.2.1. Ekonomik Faktörler

Ülkeler arasındaki ekonomik eşitsizlikler, düzensiz göçün başlıca nedenidir. Düşük gelirli ülkelerden insanlar; daha iyi iş fırsatları, yüksek ücretler ve daha iyi yaşam koşulları arayışında göç ederler. Kendi ülkelerinde ekonomik olanakların yetersizliği, onları düzensiz yollarla geçim kaynakları aramaya iter.

1.2.2. Politik İstikrarsızlık ve Çatışma

Savaşlar, siyasi zulüm ve iç karışıklıklar birçok kişiyi ülkesinden kaçmaya zorlar. Bu tür durumlarda, yasal göç yolları erişilemez veya çok yavaş olabilir.

Dolayısıyla bireyler yakın tehlikeden kaçmak ve güvenliklerini sağlamak için düzensiz göçü tercih edebilirler.

1.2.3. Sosyal Faktörler

Aile birleşimi de önemli bir faktördür. Aile üyeleri yasal olarak göç ettiğinde ve başka bir ülkede yerleştiklerinde, akrabaları vize alamazlarsa düzensiz yollarla onları takip edebilirler. Hedef ülkelerdeki sosyal ağlar ve topluluk bağları, destek ve gizli yollar hakkında bilgi sağlayarak düzensiz göçü teşvik edebilir.

1.2.4. Çevresel Faktörler

Çevresel bozulma ve iklim değişikliği giderek daha fazla göçe sebep olmaktadır. Doğal afetler, kuraklıklar ve diğer çevresel zorluklar toplulukları yerinden edebilir ve onları yaşanabilir çevreler ve sürdürülebilir geçim kaynakları arayışında düzensiz göçe zorlayabilir.

1.2.5. Politika ve Sınır Kontrolü

Katı göç politikaları ve güçlendirilmiş sınırlar, düzensiz göçe tahrik edebilir. Yasal yollar sınırlı veya çok kısıtlayıcı olduğunda göç etmeye kararlı bireyler sınırları geçmek için kaçakçılara ve diğer yasa dışı yöntemlere başvurabilirler.

1.3. Düzensiz Göçün Etkileri

Düzensiz göç; göçmenler, ev sahibi ülkeler ve kaynak ülkeler üzerinde geniş kapsamlı etkilere sahiptir (Ulcuse, 2019). Bu etkiler, kapsam ve şiddet açısından değişkenlik gösterebilir.

1.3.1. Göçmenler Üzerindeki Etkiler

- **Sağlık ve Güvenlik Riskleri:** Düzensiz göçmenler genellikle çöller, dağlar veya denizler gibi tehlikeli yolculuklarla karşı karşıya kalırlar. Fiziksel zarar, istismar ve hatta ölüm riski yüksektir.

- **Hukuki ve Sosyal Kırılganlık:** Yasal statüleri olmayan düzensiz göçmenler; sağlık hizmetleri, eğitim ve hukuki koruma gibi temel hizmetlere erişmekte güçlük yaşarlar. Ayrıca işverenler ve ev sahipleri tarafından istismara daha açık olurlar çünkü sürekli olarak gözaltına alınma ve sınır dışı edilme tehdidi altındadırlar.

- **Stres:** Durumlarının belirsizliği ve güvensizliği, düzensiz göçmenler arasında önemli bir stres yaratabilir ve ruh sağlığı sorunlarına yol açabilir. Yakalanma ve sınır dışı edilme korkusu, kaygılarını ve güvensizliklerini artırır.

1.3.2. Ev Sahibi Ülkeler Üzerindeki Etkiler

- **Ekonomik Katkıları:** Düzensiz statülerine rağmen birçok göçmen yerel iş gücü açığının bulunduğu sektörlerde çalışarak ev sahibi ülke ekonomisine katkıda bulunur ve genellikle yerli işçilerin daha az ilgi gösterdiği düşük ücretli, ağır işlerde çalışırlar.

- **Sosyal Uyum Zorlukları:** Düzensiz göç, sosyal uyumu ve entegrasyon çabalarını zorlayabilir. Belgesiz göçmenlerin varlığı, iş ve kaynaklar için haksız rekabet algısıyla toplumsal gerginliklere ve yabancı düşmanlığına yol açabilir.

- **Kamu Hizmetleri ve Güvenlik:** Düzensiz göçmenlerin sağlık ve eğitim gibi kamu hizmetlerinden yararlanması, yerel kaynaklar üzerinde baskı oluşturabilir. Ayrıca düzensiz göç güvenlik zorlukları yaratarak sınır kontrolü ve kolluk kuvveti çabalarını artırabilir.

1.3.3. Kaynak Ülkeler Üzerindeki Etkiler

- **Ekonomik Etki:** Özellikle genç ve yetenekli işçilerin ülkeden ayrılması, iş gücü ve ekonomik üretkenlik üzerinde etkili olabilir. Ancak göçmenler tarafından gönderilen havaleler ailelere önemli mali destek sağlayabilir ve yerel ekonomilere katkıda bulunabilir.

- **Sosyal Etki:** Aile üyelerinin yokluğu, aile yapılarında ve dinamiklerinde değişikliklere yol açabilir. Havaleler yaşam standartlarını iyileştirebilirken göçün sosyal maliyeti, ailelerin ayrılması ve sosyal sermayenin kaybı olarak önemli olabilir.

1.3.4. Küresel Etkiler

- **Politika ve Diplomasi:** Düzensiz göç, uluslararası iş birliği ve politika yapmayı gerektirir. Göç akışlarını yönetmek, insan haklarını korumak ve göçün kök nedenlerini ele almak için ülkeler arasında müzakereler ve anlaşmalar yapılmasını gerektirir.

- **İnsan Hakları Endişeleri:** Düzensiz göçmenlerin korunması ve insani muamele görmesi önemli bir endişe kaynağıdır. Uluslararası örgütler ve insan

hakları grupları, göçmen hakları için savunuculuk yapar ve güvenli ve yasal göç yollarının oluşturulmasının önemini vurgular.

Özetleyecek olursak düzensiz göç; ekonomik eşitsizlikler, politik istikrarsızlık, sosyal ağlar, çevresel değişiklikler ve katı göç politikaları gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanan karmaşık bir sorundur. Düzensiz göçün etkileri geniş kapsamlıdır ve göçmenler, ev sahibi ülkeler ile kaynak ülkeler üzerinde çeşitli şekillerde etkili olabilir. Düzensiz göçü ele almak; göçün temel nedenlerini dikkate alan ve göçmenlerin korunması ve haklarının sağlanmasına yönelik güvenli, yasal ve sürdürülebilir göç yolları yaratmayı amaçlayan kapsamlı bir yaklaşım gerektirir.

2. İNSANSIZ HAVA ARACI SİSTEMİ TEKNOLOJİSİ VE KULLANIM ALANLARI

2.1. İHAS Nedir?

İnsansız Hava Aracı Sistemleri (İHAS), bir veya birden fazla İnsansız Hava Aracı (İHA), bir yer kontrol istasyonu ve her bir İHA'yı kontrol istasyonuna bağlayan iletişim sistemlerinden oluşan bir komplekstir. İHA'lar, bir pilot veya mürettebat olmadan uzaktan kumanda edilerek veya otonom olarak uçabilen hava araçlarıdır. İHAS'lar; genellikle keşif, gözetleme, istihbarat toplama, lojistik destek ve hatta silahlı operasyonlar gibi çeşitli görevlerde kullanılmaktadır (Vural vd., 2021). İHA'ların geniş bir kullanım yelpazesi vardır ve bu sistemler, hızla gelişen teknolojileri sayesinde giderek daha karmaşık ve çok yönlü hâle gelmiştir.

2.2. İHAS Teknolojisinin Gelişimi

İHAS teknolojisinin gelişimi, 20. yüzyılın başlarına kadar uzanmaktadır. İlk İHA'lar, askerî amaçlarla geliştirilmiş ve genellikle hedef dronları olarak kullanılmıştır. Ancak son birkaç on yılda teknoloji hızla ilerlemiş ve İHAS'lar daha karmaşık ve çeşitli uygulamalar için uygun hâle gelmiştir (Çetinkaya ve Koç, 2023). Bu gelişim süreci özetle:

2.2.1. Erken Dönem ve Temel Uygulamalar

İlk İHA'lar, genellikle uzaktan kumanda edilen basit araçlardan oluşmuş, temel keşif ve gözetleme görevlerinde kullanılmıştır. Bu dönem, 20. yüzyılın

ortalarına kadar sürmüştür. İHA'lar, özellikle askerî hedefler ve hava savunma sistemleri için önemli bir araç hâline gelmiştir.

2.2.2. Teknolojik İlerlemeler ve Otonomi

20. yüzyılın sonları ve 21. yüzyılın başlarında, İHA teknolojisinde büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. GPS teknolojisi, dijital iletişim sistemleri ve gelişmiş faydalı yüklerin entegrasyonu, İHA'ların otonom operasyonlarını mümkün kılmıştır. Bu dönemden itibaren İHA'lar artık sadece keşif ve gözetleme değil aynı zamanda saldırı ve lojistik destek görevlerinde de kullanılmaya başlanmıştır.

2.2.3. Modern İHA Sistemleri ve Çok Yönlülük

Günümüzde İHAS'lar; çok çeşitli görevlerde kullanılabilen, son derece sofistike sistemler hâline gelmiştir. Yapay zekâ ve makine öğrenimi gibi teknolojiler, İHA'ların karar verme yeteneklerini artırmıştır. Ayrıca mini ve mikro İHA'lar gibi yeni türler, şehir içi gözetleme ve tarım gibi alanlarda kullanılmak üzere geliştirilmiştir.

2.3. İHAS Kullanım Alanları

İHAS'ların kullanım alanları oldukça geniş ve çeşitlidir. Bu sistemler, askerî ve sivil birçok alanda kritik görevler üstlenmektedir (Clarke, 2014).

2.3.1. Askerî Kullanım:

- **Keşif ve Gözetleme:** İHAS'lar; düşman hareketlerini izlemek, hedef belirlemek ve istihbarat toplamak için kullanılır. Yüksek çözünürlüklü kameralar ve diğer faydalı yüklerle donatılmış İHA'lar, geniş alanları tarayarak detaylı bilgi sağlamaktadır.
- **Saldırı:** Silahlı İHA'lar, belirli hedeflere yönelik hassas saldırılar gerçekleştirmek için kullanılır. Bu, askerî operasyonların risklerini azaltmakta ve hedeflere yönelik etkin müdahale sağlamaktadır.
- **Lojistik Destek:** İHA'lar, savaş bölgelerine malzeme taşımak veya acil durumlarda gerekli ekipmanları ulaştırmak için kullanılabilir. Bu, insan hayatını riske atmadan kritik malzemelerin hızlı bir şekilde teslim edilmesini sağlamaktadır.

2.3.2. Sivil Kullanım

- **Arama ve Kurtarma:** Doğal afetler veya kazalar sonrasında İHA'lar arama ve kurtarma operasyonlarında etkin bir şekilde kullanılabilir. Geniş alanları hızla tarayabilme yetenekleri, kayıp kişilerin yerini tespit etmeyi kolaylaştırmaktadır.

- **Tarım:** İHA'lar; tarımsal faaliyetlerde bitki sağlığını izlemek, mahsul durumunu değerlendirmek ve hassas ilaçlama yapmak için kullanılır. Bu, verimliliği artırmakta ve kaynak kullanımını optimize etmektedir.

- **Altyapı Denetimi:** Köprüler, enerji hatları ve diğer kritik altyapıların denetiminde İHA'lar önemli bir rol oynar. Zor erişilen veya tehlikeli bölgelerde, İHA'lar güvenli ve ayrıntılı inceleme yapabilmektedir.

- **Çevre İzleme:** İHA'lar; çevre koruma ve yönetiminde oldukça önemli bir araçtır. Çevresel değişiklikleri izlemek, orman yangınlarını tespit etmek ve kirlilik seviyelerini ölçmek için kullanılır.

2.3.3. Havacılık ve Lojistik

- **Hava Trafik Yönetimi:** İHA'lar, hava trafiğinin düzenlenmesi ve yönetilmesinde yardımcı olabilir. Özellikle yoğun hava sahalarında, İHA'lar trafiği izleyerek güvenliği artırmaktadır.

- **Kargo Taşımacılığı:** Kargo İHA'ları, özellikle hızlı teslimat gerektiren durumlarda lojistik sektöründe devrim yaratmıştır. İHA'lar, küçük paketlerin hızlı ve verimli bir şekilde taşınmasını sağlayabilmektedir.

2.3.4. Kamu Güvenliği ve Acil Durumlar

- **Kolluk ve Güvenlik:** İHA'lar, kalabalık etkinliklerde güvenliği sağlamak, şüpheli faaliyetleri izlemek ve operasyonları desteklemek için kullanılır. Kolluk kuvvetleri, İHA'ları suç mahallerini izlemek ve delil toplamak için kullanmaktadır.

- **Yangınla Mücadele:** İHA'lar, yangınların tespiti ve izlenmesinde önemli birer araçtır. Termal kameralar ve diğer faydalı yüklerle donatılmış İHA'lar, yangınların hızla tespit edilmesini ve bunlara müdahale edilmesini sağlar.

İHAS'lar geniş bir kullanım yelpazesine sahip, çok yönlü ve güçlü sistemlerdir. Askerî ve sivil alanlarda, keşif ve gözetlemeden saldırı ve lojistik desteğe kadar çeşitli görevlerde etkin bir şekilde kullanılmaktadırlar. Teknolojik gelişmeler, İHA'ların yeteneklerini sürekli olarak artırmakta ve yeni kullanım alanları ortaya çıkarmaktadır. İHAS teknolojisinin ilerlemesiyle birlikte gelecekte İHA'ların daha da çeşitli ve karmaşık görevlerde kullanılması beklenmektedir. Bu bağlamda İHAS'ların gelişimi ve kullanım alanları hem askerî hem de sivil uygulamalarda önemli fırsatlar ve zorluklar sunmaktadır.

3. İHA'LARIN DÜZENSİZ GÖÇ HAREKETLERİNİN TESPİTİ VE İZLENMESİNDEKİ ROLÜ

Düzensiz göç hareketlerinin etkin bir şekilde tespit edilmesi ve izlenmesi, ulusal güvenlik politikalarının önemli bir parçasını oluşturur. Bu bağlamda, İHA'lar göçmen hareketlerinin kontrol altına alınmasında kritik bir rol oynamaktadır. İHA'lar, sahip oldukları yetenekler sayesinde güvenlik güçlerine önemli avantajlar sunmaktadır.

3.1. İHA'ların Avantajları

İHA'lar, düzensiz göç hareketlerinin tespiti ve izlenmesinde birçok avantaj sunar. Bu avantajlar, İHA'ların geniş alanları etkili bir şekilde tarama, yüksek çözünürlüklü görüntüler sağlama ve uzun süreli operasyon yetenekleriyle ilgilidir (Abdulahitoğlu vd., 2022, s. 486). Başlıca avantajları:

3.1.1. Geniş Alanları Tarama Kapasitesi

İHA'lar, kısa sürede büyük coğrafi alanları tarayabilirler. Bu, özellikle sınır bölgelerinde ve geniş arazilerde düzensiz göç hareketlerinin tespit edilmesinde büyük bir avantaj sağlar. İHA'lar, sabit kameralara veya yer tabanlı sistemlere göre daha geniş bir kapsama alanına sahiptir.

3.1.2. Yüksek Çözünürlüklü Görüntüler

İHA'lar, yüksek çözünürlüklü kameralar ve termal görüntüleme sistemleri ile donatılmıştır. Bu; gece ve gündüz, farklı hava koşullarında net görüntüler elde edilmesini sağlar. Termal kameralar, özellikle gece operasyonlarında insan hareketlerini tespit etmek için kritik öneme sahiptir.

3.1.3. Uzun Süreli Havada Kalabilme

Modern İHA'lar, uzun süre havada kalabilme yeteneğine sahiptir. Bu; sürekli gözetim ve izleme faaliyetlerinin gerçekleştirilmesini mümkün kılar. Uzun süreli operasyon kabiliyeti, düzensiz göç güzergâhlarının sürekli olarak izlenmesini ve göçmen hareketlerinin anlık olarak tespit edilmesini sağlar.

3.1.4. Düşük Operasyonel Risk

İHA'lar, insan operatörlerin tehlikeli bölgelere gitmesini gerektirmeden operasyon gerçekleştirebilir. Bu hem güvenlik personelinin güvenliğini sağlar hem de operasyonel riskleri azaltır. İHA'lar, sınır bölgelerinde veya tehlikeli bölgelerde etkin bir şekilde kullanılabilir.

3.1.5. Esneklik ve Hız

İHA'lar, hızlı bir şekilde konuşlandırılabilir ve operasyon bölgelerine hızlıca ulaşabilir. Bu esneklik, acil durumlarda veya ani göç hareketlerinde çabuk müdahale imkânı sağlar. Ayrıca farklı görevler için farklı tipte İHA'lar kullanılabilir, bu da operasyonların esnekliğini artırır.

3.1.6. Gerçek Zamanlı Görüntüleme ve İletim

İHA'lar, gerçek zamanlı görüntüleme ve veri iletim kapasitesine sahiptir. Bu sayede, sınır güvenlik güçleri anlık olarak göçmen hareketlerini izleyebilir ve çabuk müdahale edebilir. Gerçek zamanlı veri iletimi, güvenlik güçlerinin olaylara daha hızlı ve etkin bir şekilde yanıt vermesine olanak tanır.

3.2. Örnek Uygulamalar ve Çalışmalar

Düzensiz göçmen hareketinin tespiti ve izlenmesine yönelik olarak İHAS teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak giderek artan uygulamalar görülmektedir.

3.2.1. Avrupa Birliği Sınırları

Avrupa Birliği (AB), düzensiz göçle mücadele kapsamında sınır güvenliğini artırmak için İHA'ları etkin bir şekilde kullanmaktadır. Frontex, AB'nin dış sınırlarını korumak için İHA'ları kullanarak göçmen hareketlerini izlemekte ve gerektiğinde müdahale etmektedir. İHA'lar, özellikle Akdeniz üzerinden gelen göçmen teknelerinin tespitinde önemli bir rol oynamaktadır. Termal kameralar

ve gece görüş sistemleri ile donatılmış İHA'lar, deniz üzerinde geniş alanları tarayarak göçmen teknelerini anında tespit edebilmektedir.

3.2.2. ABD-Meksika Sınırı

ABD, Meksika sınırında düzensiz göçle mücadele için İHA'ları kullanmaktadır. ABD Gümrük ve Sınır Koruma (CBP) birimi, sınır boyunca geniş alanları tarayarak düzensiz göçmen gruplarını ve kaçakçılık faaliyetlerini tespit etmektedir. İHA'lar, zorlu arazi koşullarında ve erişimi güç bölgelerde etkin bir gözetleme imkânı sağlamaktadır. Gerçek zamanlı veri iletimi sayesinde, sınır güvenlik güçleri anında bilgi alarak hızlı müdahale edebilmektedir.

3.2.3. Kanada'nın Kuzey Sınırı

Kanada, kuzey sınırlarında düzensiz göç hareketlerini izlemek için İHA'ları kullanmaktadır. Özellikle zorlu hava koşulları ve geniş alanlar, geleneksel gözetleme yöntemlerini zorlaştırmaktadır. İHA'lar, bu zorlu koşullarda etkili bir gözetleme imkânı sağlayarak sınır güvenliğini artırmaktadır. Gerçek zamanlı veri iletimi sayesinde, Kanada sınır güvenlik güçleri anında bilgi alarak hızlı ve etkin bir şekilde müdahale edebilmektedir.

Düzensiz göç hareketlerinin izlenmesinde İHA'ların kullanımının gelecekte daha da artacağı öngörülmektedir. Teknolojik gelişmeler ile birlikte yapay zekâ ve makine öğrenmesi gibi ileri teknolojilerin entegrasyonu, İHA'ların gözetleme yeteneklerini daha da geliştirecektir. Bu gelişmeler, düzensiz göçle mücadelede İHA'ların rolünü daha da güçlendirecek ve sınır güvenliğini daha etkili bir hâle getirecektir.

4. İHA ÜSLERİNİN BELİRLENMESİ VE UÇUŞ DEVRİYELERİNİN TESPİTİ

Hava gözetleme sistemleri, modern sınır güvenliği ve düzensiz göç hareketlerinin izlenmesi açısından giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu bağlamda İHA ve bu araçların operasyonel etkinliğini artıran üsler, gözetleme faaliyetlerinin temel bileşenlerinden biri hâline gelmiştir. İHA üslerinin konumlandırılması ve uçuş devriyelerinin planlanması, etkin bir gözetleme mekanizmasının oluşturulması için kritik faktörlerdir.

4.1. İHA Üslerinin Özellikleri

İHA üsleri; İHA'ların kalkış, iniş, bakım ve operasyonlarının gerçekleştirildiği stratejik konumlarda yer alan tesislerdir. Bu üsler, İHA'ların operasyonel etkinliğini artırmak amacıyla belirli standartlara ve özelliklere sahip olmalıdır. Temel özellikler arasında geniş bir hava sahası, güvenli iniş-kalkış pistleri, yakıt ve enerji ikmal olanakları, bakım ve onarım tesisleri, veri analiz merkezleri ve operatörler için kontrol odaları bulunur (Nahiyoon vd., 2024).

İHA üslerinin en önemli özelliklerinden biri, hızlı ve güvenli bir şekilde İHA operasyonlarının gerçekleştirilmesini sağlamaktır. Bu üsler, hem barış zamanında hem de kriz durumlarında İHA'ların etkin kullanımına olanak tanır. İHA'ların uzun süreli görevlerde kullanılabilmesi için gerekli olan lojistik destek ve bakım olanakları da üslerde yer almalıdır.

4.2. İHA Üslerinin Konumlandırılması

İHA üslerinin konumlandırılması, İHA operasyonlarının etkinliği açısından kritik öneme sahiptir. Uygun konumlandırma, İHA'ların görev bölgelerine hızlı ve etkili bir şekilde ulaşmasını sağlar. Üslerin konumlandırılmasında dikkate alınması gereken başlıca faktörler şunlardır (Telli vd., 2021):

4.2.1. Stratejik Konum

İHA üslerinin düzensiz göç hareketlerinin yoğun olduğu bölgelere yakın ve stratejik noktalarda bulunması gerekmektedir. Bu sayede, İHA'lar kısa sürede görev bölgelerine ulaşabilir ve etkin bir gözetleme gerçekleştirebilir.

4.2.2. Ulaşım ve Lojistik Kolaylıklar

İHA üslerinin lojistik destek ve bakım faaliyetlerinin kolayca yürütülebileceği yerlerde konumlandırılması önemlidir. Yakıt ikmali, yedek parça temini ve diğer lojistik ihtiyaçlar açısından kolay erişilebilir bölgeler tercih edilmelidir.

4.2.3. Güvenlik

İHA üslerinin güvenli ve korunaklı bölgelerde yer alması gerekmektedir. Hem fiziki güvenlik hem de siber güvenlik önlemleri alınarak üslerin korunması sağlanmalıdır.

4.2.4. Coğrafya ve İklim Faktörü

Üslerin coğrafya ve iklim koşullarına uygun yerlerde konumlandırılması, İHA operasyonlarının kesintisiz devam etmesi açısından önemlidir. Zorlu hava koşulları ve doğal engeller göz önünde bulundurularak en uygun yerler seçilmelidir.

4.3. Uçuş Devriyesi

Uçuş devriyesi, belirli bir bölgenin İHA'lar tarafından düzenli olarak izlenmesi ve gözetlenmesi amacıyla gerçekleştirilen uçuşlardır. Bu devriyeler; düzensiz göç hareketlerinin tespit edilmesi, kaçakçılık faaliyetlerinin izlenmesi ve sınır güvenliğinin sağlanması gibi amaçlarla yapılır. Uçuş devriyeleri, İHA'ların belirli bir güzergâh üzerinde sürekli veya periyodik olarak uçuş yapmasıyla gerçekleştirilir.

Uçuş devriyeleri, İHA'ların geniş alanları tarayarak yüksek çözünürlüklü görüntüler ve diğer faydalı yük verilerini toplamasına olanak tanır. Bu veriler, gerçek zamanlı olarak yer kontrol istasyonlarına iletilir ve burada analiz edilerek gerekli müdahaleler planlanır. Uçuş devriyeleri, özellikle sınır bölgelerinde ve göçmen hareketlerinin yoğun olduğu güzergâhlarda büyük önem taşır (Mohsan vd., 2023).

4.4. Uçuş Devriyelerinin Planlanması ve Uygulanması

Uçuş devriyelerinin etkin bir şekilde planlanması ve uygulanması, İHA operasyonlarının başarısı açısından kritik öneme sahiptir. Bu süreç, birkaç temel aşamadan oluşur (Guangqiao vd., 2020):

4.4.1. Güzergâh Belirleme

Uçuş devriyeleri için en uygun güzergâhların belirlenmesi, düzensiz göç hareketlerinin yoğun olduğu bölgeler ve kritik noktalar göz önünde bulundurularak yapılır. Güzergâh belirleme sürecinde coğrafi bilgi sistemleri ve veri analitiği kullanılarak en etkin rotalar planlanır.

4.4.2. Görev Süresi ve Frekans Ayarı

Uçuş devriyelerinin ne sıklıkta ve ne kadar süreyle gerçekleştirileceği planlanır. Bu, göç hareketlerinin yoğunluğuna ve risk seviyesine göre ayarlanır. Sürekli

gözetim gerektiren bölgelerde daha sık devriyeler yapılırken düşük riskli bölgelerde periyodik devriyeler yeterli olabilir.

4.4.3. Faydalı yük ve Ekipman Seçimi

Uçuş devriyelerinde kullanılacak İHA'ların hangi faydalı yükler ve ekipmanlarla donatılacağı belirlenir. Yüksek çözünürlüklü kameralar, termal görüntüleme sistemleri ve radarlar gibi farklı faydalı yükler, devriye görevlerinin etkinliğini artırır.

4.4.4. Operatör ve Kontrol Merkezi Koordinasyonu

İHA operatörlerinin ve kontrol merkezinin koordinasyonu sağlanarak uçuş devriyeleri sorunsuz bir şekilde yürütülür. Operatörler, İHA'ların güzergâhlarını ve görevlerini gerçek zamanlı olarak izleyerek gerekli müdahaleleri yapar.

4.4.5. Veri Toplama ve Analiz

Uçuş devriyeleri sırasında toplanan veriler, yer kontrol istasyonlarında analiz edilerek göç hareketleri ve potansiyel tehditler hakkında bilgi sağlanır. Bu analizler, sınır güvenlik politikalarının geliştirilmesi ve gerekli önlemlerin alınması için çok önemlidir.

İHAS üslerinin belirlenmesi ve uçuş devriyelerinin planlanması, düzensiz göç hareketlerinin tespiti ve izlenmesi sürecinde büyük bir rol oynamaktadır. İHAS üslerinin stratejik konumlandırılması ve uygun altyapılarla donatılması İHA operasyonlarının etkinliğini artıracak, uçuş devriyeleri ile de geniş alanlar sürekli gözetim altında tutularak güvenlik güçlerine kritik bilgiler sağlayacaktır. Bu kararların alınmasında bilimsel yöntemlerin kullanılması önemlidir. Bu bağlamda İHAS üslerinin konumlandırılması ve uçuş devriyelerinin planlanması, Yer Seçimi ve Rotalama Problemleri (Location Routing Problem) gibi matematiksel modellerle optimize edilebilir. Böylece farklı görev senaryoları için en verimli üs yerleşimleri ve uçuş rotaları belirlenerek İHA'ların görevlerini maksimum etkinlikte yerine getirmesi sağlanacaktır.

5. YER SEÇİMİ VE ROTALAMA PROBLEMLERİ (LOCATION ROUTING PROBLEM)

Yer seçimi ve rotalama problemleri, özellikle lojistik yönetiminde kritik öneme sahip konular arasında yer alır. Geleneksel olarak bu problemler yer seçimi ve

rotalama olarak ayrı ayrı ele alınmış ve optimize edilmeye çalışılmıştır. Ancak bu yaklaşımlar gerçek dünya koşullarını tam olarak yansıtmakta yetersiz kalabilmekte; yer seçimi, tahsis ve rotalama problemlerinin aynı anda ele alınmasıyla daha bütünsel ve etkili çözümler elde edilebilmektedir. Bu bağlamda Yer Seçimi ve Rotalama Problemleri süreçlerin optimizasyonunda daha gerçekçi ve entegre bir yaklaşım sunmaktadır (Vural vd., 2021).

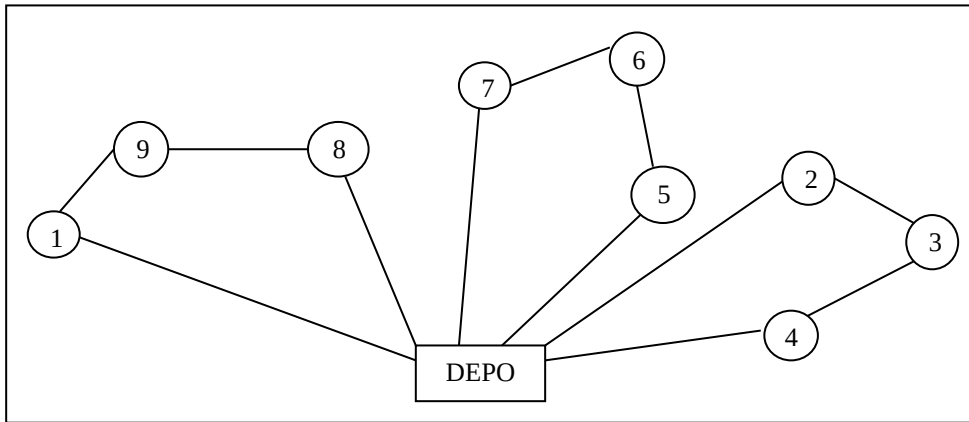
5.1. Yer Seçimi Problemleri (Facility Location Problem)

Yer seçimi problemleri, belirli tesislerin en uygun konumlarını belirlemeyi amaçlar. Bu tesisler; depolar, dağıtım merkezleri, sağlık tesisleri veya üretim tesisleri gibi çeşitli yapılar olabilir. Yer seçimi problemlerinin temel amacı, belirli kriterlere göre en uygun konumları seçerek toplam maliyeti minimize etmek ve hizmet kalitesini maksimize etmektir (Sarıkaya, 2020).

Yer seçimi problemleri, belirli hedefler doğrultusunda bir dizi potansiyel yer arasından en uygun olanların seçilmesi sürecini kapsar.

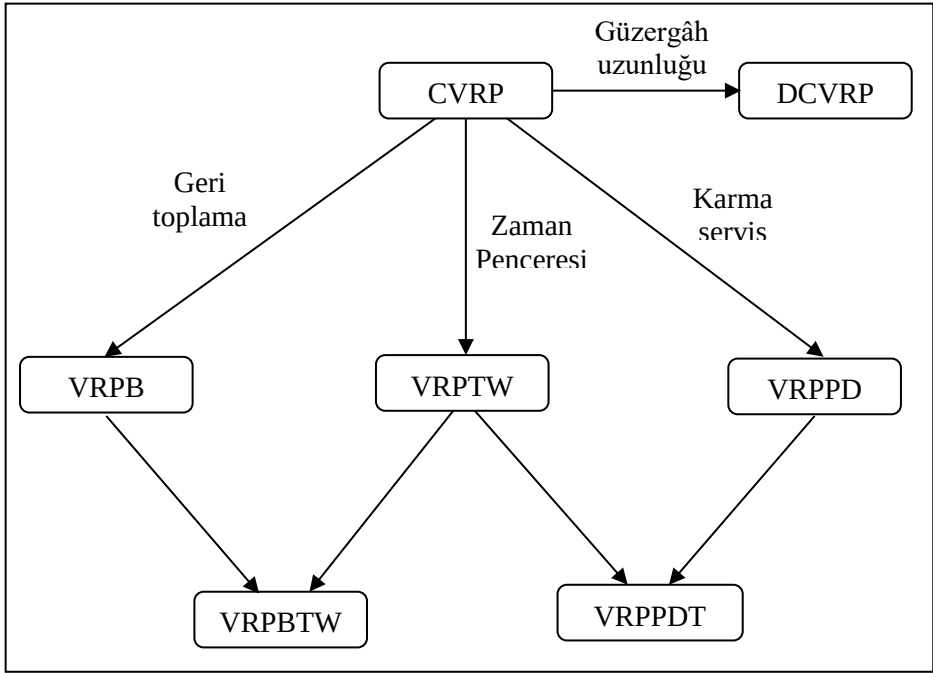
5.2. Rotalama Problemleri (Vehicle Routing)

Rotalama problemleri, belirli bir dizi nokta arasında mal veya hizmet dağıtımını en verimli şekilde planlamayı amaçlar. Bu problemler, genellikle maliyet minimizasyonu veya hizmet kalitesinin maksimizasyonu gibi hedefler doğrultusunda çözülür. Araç rotalama probleminin yapısı Şekil-2’de örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil-2. Araç Rotalama Problemi

Araç rotalama problemleri; kapasite ve mesafe kısıtlı araç rotalama problemleri (DCVRP), zaman pencereci araç rotalama problemleri (VRPTW), geri toplamalı araç rotalama problemleri (VRPB) ve dağıtım-toplamalı araç rotalama problemleri (VRPPD) olarak ana gruplara ayrılabilir. Gerçek hayatta karşılaşılan çeşitli problemler sonucu bu ana grupların kombinasyonları ile çeşitli sınıflar da ortaya çıkabilmektedir (Geri toplamalı ve zaman pencereci araç rotalama problemleri (VRPBTW) vb.). Araç rotalama problemlerinin temel sınıfları ve bunların karşılıklı bağlantıları Şekil-3'te görülebilir.



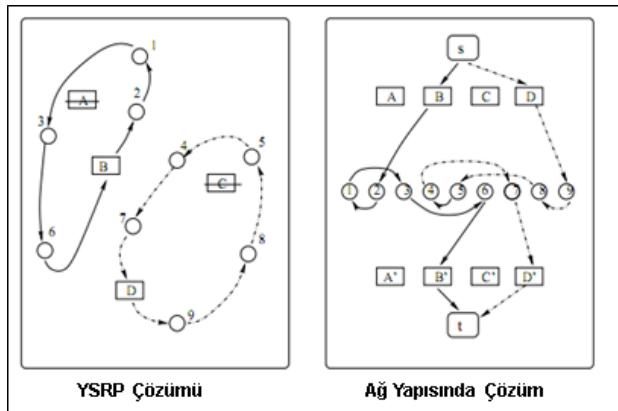
Şekil-3. Araç Rotalama Problemlerinin Sınıflandırılması (Toth ve Vigo, 2002)

5.4. Yer Seçimi ve Rotalama Problemlerinin Entegrasyonu

Yer seçimi ve rotalama problemlerinin (YSRP) ayrı ayrı ele alınması, lojistik süreçlerin tam anlamıyla optimize edilmesini engelleyebilir. Bu nedenle YSRP bütünleşmiş bir yaklaşım olarak geliştirilmiştir. YSRP, toplam maliyeti minimize edecek şekilde tesislerin yerlerinin belirlenmesi ve aynı zamanda bu tesislerden yapılan dağıtım rotalarının optimize edilmesini amaçlar. Bu bütünsel yaklaşım, daha gerçekçi ve uygulanabilir çözümler sunmaktadır (Şekil-4 YSRP çözümlerini göstermektedir.).

Salt akademik çalışmalara değil birçok gerçek dünya problemine de çözüm ürettiği gözlemlenmektedir. Genellikle çoğu problemin ürün veya kargo dağıtımını konu almasına rağmen sağlık, askerlik, iletişim gibi çeşitli alanlarda çalışmaların olduğu görülmektedir. İlk modelinin oluşturulması Watson-Gandy ve Dohrn (1973) tarafından bir dağıtım merkezinin yerleştirilmesi ve buradan kamyonetle yapılan dağıtım şeklinde gerçekleştirilmiştir. Son dönemde YSRP üzerine gerçekleştirilen Shavarani vd. (2019), Montaña vd. (2022), Santin vd. (2021), Sutrisno ve Yang (2023) ve Xu vd. (2020) çalışmaları, akademik araştırmaların pratik uygulamalara entegrasyonunu ve bu bağlamda geliştirilen çözüm yöntemlerinin gerçek dünya problemlerine uyarlanabilirliğini ortaya koymaktadır.

Literatürdeki YSRP ile kapsamlı ilk çalışma Laporte (1988) tarafından yapılmıştır. 1998 yılına kadar olan yayımlar ise Min vd. (1998) tarafından yapılan çalışmada ele alınmıştır. Nagy ve Salhi (2007) tarafından yapılan çalışmada kapsamlı bir tarama yapılmış ve yapılan sınıflandırmada veri türü, planlama periyodu, çözüm tekniği, amaç fonksiyonu çözüm uzayı, depo sayısı, araç sayısı, filo tipi, rota yapısı gibi parametreler dikkate alınmıştır.



Şekil-4. İlk YSRP Çözümleri

5.5. Çözüm Yöntemleri

YSRP, tesis yerleşiminin hem yerleşim hem de rotalama masrafları üzerinde büyük etkisi olduğundan tümleşik bir optimizasyon problemidir. Bu problemlerin matematiksel olarak ele alınması, kesikli problem uzayında en iyi

çözümleri aramayı amaçlar ve genellikle NP zor sınıfına girer. Karmaşıklıkları nedeniyle yer seçimi ve araç rotalama problemleri sıklıkla ayrıştırılarak çözülür ancak bu yaklaşım optimal sonuçlar sağlamaz. Salhi ve Rand (1989), bu iki problemin aynı anda çözülmesinin önemini vurgulamıştır. Hibrid ve ardışık metotlar gibi çeşitli çözüm teknikleri, YSRP'nin çözümünde yaygın olarak kullanılmakta ve sezgisel yöntemler kadar hızlı olabilmektedir. Srivastava ve Benton (1990) gibi araştırmacılar, özel durumlar için iyi sonuçlar elde etmiştir ancak optimal çözümler garanti edilememektedir. YSRP çözümünde alt problemlere bölme yaklaşımı sıkça kullanılır, bu sayede daha yönetilebilir alt problemler optimal ya da optimale yakın çözümler sağlar. Simetrik problemler için kısıt gevşetme ve dal sınır yöntemleri gibi teknikler kullanılır. YSRP çözümünde, yüksek kapasiteli bilgisayarların ve ileri bilişim teknolojilerinin kullanılması, daha karmaşık problemlerin çözülmesine olanak tanımaktadır. Laporte (1998) tam sayılı doğrusal programlama ve kısıt gevşetme yöntemleriyle YSRP'ye kesin çözümler getirmiştir. Drezner (1982) ise 5.000 çift talep noktasına kadar YSRP'ni optimum olarak çözmüştür. Genel olarak sezgisel yöntemler, YSRP'nin karmaşıklığı nedeniyle daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

6. ÖRNEK BİR UYGULAMA

Bu çalışmada düzensiz göç hareketlerinin izlenmesi ve kontrol altına alınması için İHAS kullanımına yönelik bir matematiksel model ve optimizasyon stratejisi geliştirilmiştir. Uygulama, belirli bir senaryo altında İHAS üslerinin konumlandırılması ve uçuş devriyelerinin planlanmasını içermektedir. Bu kapsamda problem tanımı, kullanılan yöntemler ve elde edilen sonuçlar ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır.

6.1. Problem Tanımı

Düzensiz göç hareketlerinin izlenmesi ve kontrolü, geniş coğrafi alanlarda etkin gözetim gerektirir. Bu bağlamda, İHAS'ların doğru konumlandırılması ve uçuş rotalarının optimize edilmesi büyük önem taşır. İHAS üslerinin yanlış yerleştirilmesi, operasyonel verimsizliklere ve kaynak israfına yol açabilir. Bu nedenle İHAS üslerinin en uygun konumlarının belirlenmesi ve uçuş rotalarının en etkin şekilde planlanması gerekmektedir. Senaryo kapsamında (Şekil-5) kendi bölgesindeki olası düzensiz göçün tespit edilebilmesi için talepte bulunan

FC : Üs açma maliyeti

PC : İHA tedarik maliyeti

TC : Birim uçuş maliyeti

C_{ij} : i noktasından j noktasına uzaklık

Q : İHA uçuş süresi kapasitesi

π_j : Alt tur engellemede kullanılan değişken

A : Açılacak üs sayısı

Karar Değişkenleri:

X_{ijv} : 1 eğer v İHA'sı i noktasından sonra j noktasına giderse, 0 diğer durumlarda.

y_k : 1 eğer k noktasında üs kurulursa, 0 d.d.

S_v : 1 eğer v İHAS'ı tedarik edilip kullanılırsa, 0 d.d.

YSRP matematiksel modeli aşağıdaki şekilde oluşturulur.

$$\text{Min } Z = \sum_{k \in K} FC * y_k + \sum_{v \in V} PC * S_v + \sum_v \sum_{i \in I} \sum_{j \in K} TC * c_{ij} * x_{ijv}$$

s.t.

$$\sum_{v \in V} \sum_{j \in I+K} x_{jiv} = 1 \quad \forall i \in I \quad (1)$$

$$\sum_{j \in I+K} x_{jiv} = \sum_{j \in I+K} x_{ijv} \quad \forall i \in I, \forall v \in V \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} x_{kiv} = y_k \quad \forall k \in K, \forall v \in V \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ikv} = y_k \quad \forall k \in K, \forall v \in V \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I+K} \sum_{j \in I+K} x_{ijv} (d_j + c_{ij}) \leq Q * S_v \quad \forall v \in V \quad (5)$$

$$\pi_j \geq \pi_i + 1 - n(1 - \sum_{v \in V} x_{ijv}) \quad \forall i, j \in I \quad (6)$$

$$\sum_{k \in K} y_k = A \quad (7)$$

$$x_{ijv}, y_k \in \{0,1\} \quad (8)$$

$$\pi_i \geq 0 \quad (9)$$

Amaç fonksiyonu; üslerin kurulma maliyeti, İHA tedarik maliyeti ve İHA'nın uçuş maliyetlerinin toplamını minimize etmektedir. İlk kısıt her bir müşteriye bir İHA atanmasını sağlamaktadır. Kısıt (2) diğer bir müşteri ya da üs bölgesinden gelen İHA'nın bu müşteri bölgesinde kalmamasını ve başka bir müşteri ya da üs bölgesine dönmesini garanti etmektedir. Kısıt (3) ve kısıt (4) *k* aday üs bölgesine bir üs bölgesi kurulmadıkça oradan uçuş gerçekleşmeyeceğini belirtmektedir. Kısıt (5) müşterilerin gözetleme saati talepleri ile İHA'nın rota esnasında kat edeceği yolun toplamının İHA'nın maksimum uçuş saatinden fazla olamayacağını sağlamaktadır. Kısıt (6) alt tur engelleme (subtour elimination) kısıtıdır. Kısıt (7) açılacak üs sayısının belirlenmek istenmesi durumunda kullanılacak kısıttır. Kısıt (8) ve (9) 1-0 ve pozitif sayı kısıtlıdır.

6.3. Problemin Çözümü

Problemin çözümünde GAMS (General Algebraic Modeling System) yazılımı kullanılmıştır. GAMS, karmaşık optimizasyon problemlerini çözmek için güçlü bir araçtır ve çeşitli matematiksel modellerin uygulanmasını sağlar. Oluşturulan model küçük sayılabilecek jenerik bir senaryo üzerinde çözüme kavuşturulmuş ve ihmal edilecek bir sürede sonuçlar alınmıştır.

Çözüm Şekil-6.'da gösterilmektedir. Çözüm ile seçilen 1 üs bölgesi ve 4 adet İHA ile yapılacak keşif ve gözetleme faaliyetlerine ilişkin rotalar görülmektedir. Gerçek senaryolar ile modelin kullanılması durumunda karar vericiye oldukça değerli katkılar sunacağı değerlendirilmektedir.



Şekil-6. Senaryonun Çözümü

7. SONUÇ

Bu çalışma, düzensiz göç hareketlerinin tespitinde ve izlenmesinde İHAS stratejik kullanımını ele almıştır. Düzensiz göç; küresel düzeyde sosyal, ekonomik ve politik zorluklar yaratan karmaşık bir olgudur. Göçmenlerin güvenliği ve ev sahibi ülkelerin sınır güvenliği açısından etkili çözümler geliştirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda İHAS'ların geniş alanları hızlı bir şekilde tarayabilme, yüksek çözünürlüklü görüntüler sağlayabilme ve uzun süre havada kalabilme gibi avantajları, düzensiz göç hareketlerinin izlenmesinde önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır.

Çalışma kapsamında, İHAS üslerinin konumlandırılması ve uçuş devriyelerinin planlanması için karışık tam sayılı programlama (MIP) modeli geliştirilmiştir. GAMS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon sonucunda, İHAS üslerinin en uygun konumları ve İHA'ların en verimli uçuş rotaları belirlenmiştir. Model, toplam operasyon maliyetini minimize etmeyi ve gözetleme faaliyetini maksimize etmeyi hedeflemiştir.

Elde edilen sonuçlar; stratejik olarak konumlandırılmış İHAS üslerinin ve optimize edilmiş uçuş rotalarının, düzensiz göç hareketlerinin etkin bir şekilde izlenmesini sağladığını göstermektedir. Bu, hem sınır güvenlik güçlerinin operasyonel verimliliğini artırmakta hem de düzensiz göçmenlerin tespit edilme olasılığını yükseltmektedir. İHAS'ların gerçek zamanlı veri iletimi sayesinde sınır güvenlik güçleri anında müdahale edebilmekte ve daha etkin önlemler alabilmektedir.

İHAS'ların kullanımı; sadece düzensiz göçle mücadelede değil aynı zamanda arama ve kurtarma operasyonları, tarım, altyapı denetimi, çevre izleme ve kamu güvenliği gibi çeşitli sivil uygulamalarda da büyük bir potansiyele sahiptir. Bu çalışma, İHAS teknolojisinin çok yönlülüğünü ve geniş bir uygulama yelpazesinde sunduğu avantajları vurgulamaktadır.

Gelecekte İHAS teknolojisinin daha da geliştirilmesi ve yapay zekâ, makine öğrenimi gibi ileri teknolojilerle entegrasyonu, gözetim ve izleme kapasitelerini artıracaktır. Bu gelişmeler, düzensiz göç hareketlerinin daha etkin bir şekilde yönetilmesine ve sınır güvenliğinin pekiştirilmesine olanak tanıyacaktır.

Sonuç olarak bu çalışma, düzensiz göç hareketlerinin tespiti ve izlenmesi için İHAS'ların stratejik kullanımına yönelik önemli bir model ve çözüm önerisi

sunmaktadır. Elde edilen bulgular, İHAS'ların sınır güvenliği ve düzensiz göçle mücadele konusundaki potansiyelini ortaya koymaktadır. Bu yaklaşımlar, gelecekte daha kapsamlı araştırmalar ve uygulamalar için temel oluşturabilir ve farklı güvenlik ve gözetleme senaryolarında kullanılabilir.

KAYNAKÇA

- Abdulahitoğlu, A., Abdulvahitoğlu, A. ve Başboğa, Ö. (2022). UAV selection with MULTIMOORA method: an international comparison. 4. International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences bildiriler kitabı içinde (ss. 485–493). Konya: ICAENS.
- Alakuş, E. ve Uzan, Y. (2020). İnsan ticaretine konu olma potansiyeli bakımından Türkiye'nin Afgan düzensiz göçmen gerçeği. *Göç Araştırmaları Dergisi*, 6(1), 92-117.
- Clarke, R. (2014). Understanding the drone epidemic. *Computer Law & Security Review*, 30(3), 230-245.
- Çetinkaya, S.G. ve Koç, M. (2023). Türkiye'nin insansız hava araçları serüveni. *Anadolu Strateji Dergisi*, 5(1), 1-27.
- Guangqiao, C. A. O., Yibai, L. I., Feng, N. A. N., Dong, L. I. U., Cong, C. H. E. N., ve Jinlong, Z. H. A. N. G. (2020). Development and analysis of plant protection UAV flight control system and route planning research. *Nongye Jixie Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 51(8).
- Laporte, G. (1988). Location-Routing problems, vehicle routing: methods and studies. *studies in management science and systems*. (ss. 163-197). Amsterdam: Dalttraf.
- Mehta, P., Gupta, R., ve Tanwar, S. (2020). Blockchain envisioned UAV networks: Challenges, solutions, and comparisons. *Computer Communications*, 151, 518-538.
- Min, H., Jayaraman, V. ve Srivastava, R. (1998). Combined location-routing problems: A synthesis and future research directions. *European Journal of Operational Research*, 108(1), 1-15.
- Mohsan, S. A. H., Othman, N. Q. H., Li, Y., Alsharif, M. H. ve Khan, M. A. (2023). Unmanned aerial vehicles (UAVs): Practical aspects, applications, open challenges, security issues, and future trends. *Intelligent Service Robotics*, 16(1), 109-137.
- Montaña, L.C., Malagon-Alvarado, L., Miranda, P.A., Arboleda, M.M., Solano-Charris, E.L. ve Vega-Mejía, C.A. (2022). A novel mathematical approach

- for the truck-and-drone location-routing problem. *Procedia Computer Science*, 200, 1378-1391.
- Nagy, G. ve Salhi, S. (2007). Location-routing: issues, models and methods. *European journal of operational research*, 177(2), 649-672.
- Nahiyoon, S.A., Ren, Z., Wei, P., Li, X., Li, X., Xu, J. ve Yuan, H. (2024). Recent development trends in plant protection UAVs: A journey from conventional practices to cutting-edge technologies—A comprehensive Review. *Drones*, 8(9), 457.
- Özcan, N.Ş. (2015). Düzensiz göç üzerine bir inceleme: Küresel dinamikler, ulus-devletler, göçmenler. *İdealkent*, 6(15), 22-39.
- Salhi, S. ve Rand, G. K. (1989). The effect of ignoring routes when locating depots. *European journal of operational research*, 39(2), 150-156.
- Santin, R., Assis, L., Vivas, A. ve Pimenta, L.C. (2021). Matheuristics for multi-UAV routing and recharge station location for complete area coverage. *Sensors*, 21(5), 1705.
- Sarıkaya, H.A. (2020). Jandarma karakollarının yer seçiminin enbüyük kapsama metodu ile belirlenmesi. *Endüstri Mühendisliği*, 31(1), 28-47.
- Shavarani, S.M., Mosallaeipour, S., Golabi, M. ve İzbirak, G. (2019). A congested capacitated multi-level fuzzy facility location problem: An efficient drone delivery system. *Computers & Operations Research*, 108, 57-68.
- Srivastava, R. ve Benton, W.C. (1990). The location-routing problem: considerations in physical distribution system design. *Computers & operations research*, 17(5), 427-435.
- Sutrisno, H. ve Yang, C. L. (2023). A two-echelon location routing problem with mobile satellites for last-mile delivery: mathematical formulation and clustering-based heuristic method. *Annals of Operations Research*, 323(1), 203-228.
- Telli, K., Kraa, O., Himeur, Y., Ouamane, A., Boumehraz, M., Atalla, S., ve Mansoor, W. (2023). A comprehensive review of recent research trends on unmanned aerial vehicles (uavs). *Systems*, 11(8), 400.

- Toth, P. ve Vigo, D. (2002). An overview of vehicle routing problems. Toth, P. ve Vigo, D. (Ed.), *The vehicle routing problem* (ss. 1-23). Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Tunca, H.Ö. ve Karadağ, A. (2020). Türkiye’deki Suriyeli sığınmacılara yönelik toplumun güvenlik algısı ölçeği: geçerlilik ve güvenirlik çalışması. *Güvenlik Bilimleri Dergisi*, 9(2), 525-554.
- Ulcelse, M. (2019). The long-term effect of migration on economic inequality between EU Member States. GLO Discussion Paper, No. 383.
- Vural, D., Dell, R.F. ve Kose, E. (2021). Locating unmanned aircraft systems for multiple missions under different weather conditions. *Operational Research*, 21(1), 725-744.
- Watson-Gandy, C.D.T. ve Dohrn, P.J. (1973). Depot location with van salesmen—a practical approach. *Omega*, 1(3), 321-329.
- Xu, C., Xu, M. ve Yin, C. (2020). Optimized multi-UAV cooperative path planning under the complex confrontation environment. *Computer Communications*, 162, 196-203.
- Yetgin, M.A., ve Baştuğ, M. (2021). Devletlerin değişen güvenlik algısında insansız hava araçları. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 3(2), 55-64.
- Yıllara Göre yakalanan düzensiz göçmen sayısı.* (2024). Erişim tarihi: 08 Haziran 2024, <https://goc.gov.tr/duzensiz-goc-istatistikler>