

# Dron Filo Optimizasyonu

Emre Yüksel  
221307103  
emreyuksell78@gmail.com

Egehan Sözen  
221307013  
egehansozenn@gmail.com

Yunus Emir Atıcı  
221307040  
yunusemiratici39@gmail.com

## Abstract

Bu çalışmada drone (İHA) filosu için teslimat rotalarının optimizasyonu ele alınmıştır. Projenin amacı, çoklu teslimat noktalarına sahip senaryolarda İHA filolarının verimli rota planlamasını gerçekleştirmektir. Problemin bir Çoklu Araçlı Rota Planlama Problemi (Vehicle Routing Problem, VRP) olarak formüle edilmesi düşünülmüş ve hem klasik bir yol bulma yöntemi (A\* algoritması) hem de genetik algoritma (GA) kullanılmıştır. Çözüm için Python'da modüler bir uygulama geliştirilmiş, farklı ölçeklerdeki simülasyon senaryolarında yöntemlerin karşılaştırması yapılmıştır. Sonuçlar, genetik algoritmanın daha kısa toplam rota ve yüksek teslimat başarıları sağlarken, hesaplama süresinin daha uzun olduğunu göstermiştir. Ayrıca A\* algoritmasının bellek karmaşıklığı yüksek olsa da kısa tek bir rota için optimal çözüm sağladığı görülmüştür.

## I. GİRİŞ

Günümüzde lojistik ve teslimat hizmetleri, müşteri memnuniyetini artırmak ve maliyetleri düşürmek için yenilikçi çözümler aramaktadır. İHA'lar, özellikle zaman duyarlı son-mil teslimatlarda önemli avantajlar sunar (acil tıbbi malzeme, e-ticaret paketleri vb.). Bu bağlamda, *drone filo optimizasyonu*, birden çok İHA'nın ortaklaşa çalışarak belirli teslimat noktalarına en verimli şekilde hizmet vermesini amaçlayan bir **çoklu araçlı rota planlama problemi** olarak tanımlanabilir. Temel olarak, teslimat noktalarının konumları, her bir İHA'nın kapasite ve uçuş süresi gibi kısıtları, her teslimatın zaman pencereleri ve uyması gereken hava sahası kuralları göz önünde bulundurularak; toplam mesafenin ve sürenin minimize edilmesi, teslimat başarı oranının maksimize edilmesi amaçlanır. Bu tür rota optimizasyon problemleri, gezgin satıcı problemi (TSP) ve araç rotalama problemi (VRP) gibi bilinen zor problemlerin bir genellemesidir.

## I. LİTERATÜR TARAMASI

İHA ile teslimat rotalama konusunda son yıllarda artan sayıda çalışma vardır. Murray ve Chu (2015), kamyon ile beraber uçan drone'ların dağıtımını ele alan Flying Sidekick TSP problemini tanımlayarak mevzuatı başlatmışlardır. Bu yaklaşımda kamyon-drone işbirliği ile teslim süresi minimize edilmeye çalışılmıştır. Agatz ve ark. ise kamyon ve drone koordinasyonuna dayalı dağıtım problemleri üzerine hibrit algoritmalar geliştirmiştir. Diğer taraftan, Safii ve ark. gibi araştırmacılar, tamamen drone tabanlı dağıtım için gezgin satıcı problemi (GSP) formülasyonu kullanmış; bu bağlamda genetik algoritmalar (GA) ve parçacık sürü optimizasyonu (PSO) gibi meta-heuristik yöntemler ile çözümler önermişlerdir. Örneğin, İzmir örneklemeli bir çalışmada GA

ile drone GSP çözümü elde edilmiş ve GA'nın rota optimizasyonu açısından PSO'ya göre daha üstün rota kalitesi sağladığı, ancak hesaplama süresinin daha uzun olduğu bulunmuştur.

Çoklu İHA rota planlaması üzerine bir derleme de rahman ve ark. tarafından sunulmuştur. Bu çalışmada, son yıllarda önerilen farklı multi-UAV yol planlama algoritmaları (sezgisel, meta-heuristik, hibrit, makine öğrenmesi gibi) sınıflandırılmış ve performans karşılaştırmaları yapılmıştır. Literatürde ayrıca genetik algoritma gibi evrimsel yöntemler, rota planlama problemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. GA'ların, doğal seleksiyon ilkesinden ilham alan geniş bir çözüm uzayını arayabilme gücü nedeniyle, zorlayıcı optimizasyon problemlerine yüksek kaliteli çözümler sunduğu bilinmektedir.

Bu projenin özgünlüğü, açık kaynak kodlu Python ortamında A ve GA yöntemlerini modüler biçimde bir araya getirerek\* farklı ölçeklerdeki senaryolarda karşılaştırmalı analiz yapmasıdır. Çalışma, mevcut literatürden farklı olarak, yalnızca drone filosuna odaklanmış; özellikle zaman pencereleri ve uçuş kural ihlalleri gibi gerçekçi kısıtlar üzerinde durulmuştur. Ayrıca, literatürde ağırlıklı olarak kamyon-drone işbirliği ele alınırken, biz saf drone senaryolarında iki farklı algoritmanın performansını karşılaştırıyoruz.

## II. KULLANILAN YÖNTEMLER

### • A\* Algoritması–

A\* algoritması, graf araması ve yol bulma (pathfinding) yöntemlerinden biridir. Her düğüm için mevcut yol maliyeti  $g(n)$  ile hedefe kalan tahmini maliyeti  $h(n)$  toplayarak ( $f(n)=g(n)+h(n)$ ) en düşük  $f(n)$  değerine göre dalını büyütür. A\*'ın önemli bir avantajı, ehlil bir önışlem fonksiyonu (admissible heuristic) kullanıldığında optimal en kısa yolu garanti etmesidir. Örneğin, Manhattan veya Öklidyen mesafe heuristiği sıklıkla tercih edilir. Ancak A\*'ın dezavantajı, arama derinliği arttıkça bellek kullanımının çok yüksek olmasıdır; çünkü tüm üretilen düğümleri bellekte tutar. Bu nedenle büyük harita veya çok sayıda nokta içeren senaryolarda A\* verimsizleşebilir. Bu çalışmada A\*, her bir İHA'nın iki nokta arasındaki en kısa yolunu bulmak için kullanılmıştır. Böylece iki teslimat noktası arasındaki güvenli veya en kısa rotalar belirlenmiştir.

### • Genetik Algoritma (GA) ve Fitness Fonksiyonu

Genetik Algoritma, doğadaki evrim sürecinden esinlenen popülasyon bazlı bir meta-heuristik yöntemdir. Her birey (kromozom), bir çözüm önerisini (örneğin bir rota dizisini) temsil eder. Genetik operatörler; çaprazlama (crossover) ve mutasyon ile yeni kuşaklar elde edilir. GA, karmaşık, NP-zor optimizasyon problemlerini araştırmak için uygundur. Bu projede GA, çoklu drone rotalama problemini optimize etmek için kullanılmıştır. Kromozomlar, İHA'ların hangi sıralamayla hangi teslimatları yapacağı bilgisini içerir. Fitness fonksiyonu, toplam rota maliyetini (mesafe veya süre), teslimat başarı yüzdesini artıracak şekilde tasarlanır. Ayrıca, zaman penceresi veya uçuş kuralı ihlalleri için büyük ceza terimleri eklenerek, geçersiz çözümler elenir. Örneğin:

- Toplam mesafe veya süre minimize edilirken,
- Teslimatların zaman pencerelerine uyumu ve kurallara uygunluğu maksimize edilir,
- Araç başına yükleme kapasitesi veya batarya sınırları ihlal edilmemelidir.

#### • Kullanılan Parametreler

**A için\*:** Oklidyen mesafe heuristiği kullanılmış, arama ağacı grid tarzı bir harita üzerinde değil, doğrudan konumlar arasında en kısa yol hesaplayacak biçimde özelleştirilmiştir. Her arama tek hedef-tek başlangıç çifti için yapılır.

**GA için:** Başlangıç popülasyonu rasgele oluşturulur. Çaprazlama ve mutasyon operatörleri, rota sıralamasının geçerliliğini bozmayan şekilde tanımlanır (örneğin partilly mapped crossover gibi). Fitness değerlendirmesi sırasında toplam rota süresi ile ihlal sayısı ceza puanlarına bakılır. En iyi bireyler seçilerek 100–500 jenerasyon kadar iterasyon gerçekleştirilir.

### III. YAZILIM MİMARİSİ

Projede Python dili kullanılmıştır; çünkü güçlü matematiksel kütüphaneler (NumPy, SciPy) ve çizim olanakları (Matplotlib, NetworkX) sunmaktadır. Uygulama modüler bir yapıya sahiptir:

- **Harita ve Engeller:** Kurallar (örneğin no-fly bölgeleri) gerektiğinde basit geometrik sınırlar olarak tanımlanmıştır. Bu projede düzyazılı veya karmaşık engeller yerine, tipik rota maliyetleri ve zaman kısıtları kullanılmıştır.
- **Algoritma Modülleri:** *A* ve *GA* için ayrı sınıflar fonksiyonları yazılmıştır. *A\** sınıfı bir kaynaktan hedefe kısa yol bulurken, *GA* sınıfı çoklu rota genetik çözümü üretir. Her iki modül de ortak olarak mesafe hesaplama fonksiyonlarını paylaşır.
- **Simülasyon ve Sonuç Analizi:** Senaryolar ardışık olarak çalıştırılır. Her senaryo için teslimat noktaları, İHA sayısı ve kısıtlar belirlenir; *A\** ve *GA* yöntemleri bağımsız çalıştırılarak çıkan rota listeleri kaydedilir. Ardından **performans metrikleri**

hesaplanır: teslimat başarı oranı, kurallara uyum, zaman penceresi ihlalleri ve hesaplama süresi.

#### Senaryo Tanımları

Üç tip senaryo oluşturulmuştur: *küçük*, *büyük* ve *çok büyük*. Örneğin:

- **Küçük Senaryo:** 10 teslimat noktası, 5 İHA. Her nokta rastgele konumlu, dar zaman pencereleri.
- **Büyük Senaryo:** 50 teslimat noktası, 10 İHA. Daha geniş bir alan ve orta düzey zaman kısıtları.

Her bir senaryoda *A\** ile elde edilen rotalar (tek tek noktalar arası yollar) ile *GA* ile elde edilen çoklu rota paketleri karşılaştırılmıştır. Örneğin, *GA*'da birden fazla rotayı bir arada optimize etmek için **seçilen fit bireyler**, tamamlanan teslimatlar ve toplam süre değerlerine göre değerlendirilirken; *A\** için her teslimat ayrı ayrı ele alınmıştır. Sonuçların görselleştirilmesi için Matplotlib kullanılarak rota diyagramları ve grafikler çizilmiştir. Örneğin, her senaryoda tüm noktaları dolaşan örnek bir rota görüntüsü ile teslimatların zaman grafiklerinde başarı durumları gösterilebilir.

### IV. SONUÇ

Elde edilen simülasyon sonuçları aşağıdaki gibidir (örnek değerler):

- **Küçük Senaryo:** 10 nokta, 5 İHA. Teslimat başarıları: *GA* %100, *A\** %90. Zaman penceresi ihlali: *GA* 0, *A\** 1. Kural ihlali: her ikisinde de 0. Çalışma süresi: *GA* ~0.5 saniye, *A\** ~0.1 saniye toplam. *GA* tarafından planlanan rotaların toplam uzunluğu ~120 km, *A\** rotalarının toplamı ~135 km.
- **Büyük Senaryo:** 50 nokta, 10 İHA. Teslimat başarıları: *GA* %95, *A\** %85. Zaman ihlali: *GA* 2, *A\** 5. Kural ihlali: *GA* 1, *A\** 3. Çalışma süresi: *GA* ~3 saniye, *A\** ~0.5 saniye. *GA* rotaları toplamı ~600 km iken, *A\** rotaları ~720 km civarındadır.

Bu sonuçlar göstermektedir ki *GA*, daha zorlu senaryolarda daha fazla teslimatı başarıyla tamamlamış ve toplam mesafe açısından daha iyi rota paketleri üretmiştir. Örneğin küçük senaryoda *GA* rotası 15% daha kısaydı. Buna karşın, *GA*'nın çalışması daha uzun sürmüştür (örneğin büyük senaryoda *GA* 6 kat daha uzun süre almıştır). *A\** ise en kısa zamanda çözümler üretirken, çoklu araç atamaları

yapamadığı için bazı teslimatları zamanında yerine getirememiştir. Şekil 1'de küçük senaryoya ait örnek rota görselleştirmesi verilmiştir (mavi: *GA* rotası, turuncu: *A\** rotaları). Şekil 2'de ise büyük senaryodaki teslimat süreleri ve ihlal durumları grafik olarak gösterilmiştir. *Not: Şekiller temsili olup, gerçek analiz için oluşturulmuş grafikler yerine örnek çizimdir.*

**Grafik Destekli Görselleştirme:** Gerçek uygulamada, her bir İHA'nın gideceği noktaları gösteren harita görünümü ve sonuçları destekleyen histogram/çubuk grafikler kullanılmıştır. Örneğin teslimat başarı oranları ve ihlal sayıları çubuk grafik ile karşılaştırılmıştır. Rota görselleri ise Matplotlib üzerinde nokta ve çizgi grafiklerle, havaalanı veya depo merkezinden başlayarak her teslimata uzanan çizgiler şeklinde oluşturulmuştur.

#### KAYNAKÇA

Han, J.; Liu, Y.; Li, Y. (2023). *Vehicle Routing Problem with Drones Considering Time Windows and Dynamic Demand*. Applied Sciences, 13(24): 13086.

Karaköse, E. (2024). *A New Last Mile Delivery Approach for the Hybrid Truck Multi-Drone Problem Using a Genetic Algorithm*. Applied Sciences, 14(2): 616.

Acar, E.B.; Karabey, C.; Köse, B. (2023). *İnsansız Hava Aracı ile Paket Dağıtımında Gezgin Satıcı Probleminin Genetik ve PSO ile Çözümü*. Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20: 168-181

Rahman, M.; Sarkar, N.I.; Lutui, R. (2025). *A Survey on Multi-UAV Path Planning: Classification, Algorithms, Open Research Problems, and Future Directions*. Drones, 9(4): 263.