

# Drone Filo Optimizasyonu: Çok Kısıtlı Ortamlarda Dinamik Teslimat Planlaması

Tunahan Çolak  
211307053

tnhncolak@gmail.com  
KOÜ, Bilişim Sistemleri Mühendisliği

Yunus Emre Akyay  
211307046

irukaemreim@gmail.com  
KOÜ, Bilişim Sistemleri Mühendisliği

Veli Çakır  
201307086

velicr57@gmail.com  
KOÜ, Bilişim Sistemleri Mühendisliği

**Özet—** Bu projede, dronelerin çoklu teslimat noktalarına en verimli şekilde yönlendirilmesini sağlayan bir rota optimizasyon sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem; teslimatların ağırlığı, öncelik derecesi, zaman kısıtı ve dronelerin pil kapasitesi gibi gerçek dünya kısıtlarını dikkate alarak, Genetik Algoritma (GA) ve A\* algoritması temelli bir çözüm sunmaktadır. Ayrıca, uçuş yasağı bölgeleri (No-Fly Zones) sisteme entegre edilerek, bu bölgeler aktifken dronelere alternatif rotalar çizdirilmiştir. Geliştirilen sistem, Python programlama dili kullanılarak modüler yapıda tasarlanmış ve görselleştirme ile desteklenmiştir. Sonuç olarak, rota planlaması ve kaynak optimizasyonu gibi problemler için güçlü ve genişletilebilir bir altyapı sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler—**A\* algoritma, Drone teslimatı, Genetik algoritma

**Abstract—** In this project, a route optimization system has been developed to efficiently assign multiple drones to various delivery points. The proposed system considers real-world constraints such as package weight, delivery priority, time windows, and drone battery capacity, and employs a Genetic Algorithm (GA) and A\* pathfinding-based approach. No-Fly Zones are also integrated into the system, forcing drones to generate alternate paths when these zones are active. The system is designed modularly using Python and includes visualization support. As a result, it offers a robust and extensible infrastructure for problems such as route planning and resource optimization.

**Keywords—**Drone delivery, A\* algorithm, Genetic algorithm

## I. GİRİŞ

Son yıllarda insansız hava araçları (İHA), özellikle drone teknolojileri, lojistik ve taşımacılık sektörlerinde büyük bir dönüşüm yaratmıştır. Geleneksel teslimat yöntemlerine kıyasla daha hızlı, çevre dostu ve maliyet açısından avantajlı çözümler sunabilen dronelar; acil ilaç ulaştırma, e-ticaret ürün teslimatı, afet bölgesi yardımları gibi birçok alanda aktif olarak kullanılmaktadır. Ancak, bu sistemlerin verimli bir şekilde çalışabilmesi için, birçok karmaşık parametrenin aynı anda göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bunlar arasında teslimat noktalarının konumları, paket ağırlıkları, zaman kısıtları (time windows), dronelere ait pil kapasitesi, maksimum taşıma kapasitesi, uçuş hızları ve rotaları etkileyen uçuş yasak bölgeleri (no-fly zones) gibi faktörler yer almaktadır.

Bu proje, çoklu drone ve çoklu teslimat noktası içeren bir sistemde, yukarıda belirtilen kısıtları dikkate alarak en uygun

teslimat planlamasını yapmayı amaçlamaktadır. Projede genetik algoritmalar, A\* arama algoritması ve kısıt memnuniyet problemleri (Constraint Satisfaction Problems - CSP) gibi optimizasyon teknikleri birlikte kullanılarak, hem rota planlaması hem de kaynak ataması gerçekleştirilmektedir. Geliştirilen sistem, teslimat rotalarının hem mesafe hem de enerji tüketimi açısından optimize edilmesini sağlamakta; aynı zamanda aktif zaman kısıtları olan uçuş yasak bölgeleri de dinamik olarak göz önünde bulundurarak güvenli teslimat yolları önermektedir.

Bu çalışma, sadece akademik bir simülasyon değil, aynı zamanda gerçek dünya senaryolarında uygulanabilir modüler bir sistem tasarımı sunmayı hedeflemektedir. Kullanıcı dostu bir arayüz ile desteklenen bu yapı sayesinde, sistemin test edilmesi, görselleştirilmesi ve analiz edilmesi kolaylaştırılmıştır. Proje, gelecekte daha büyük çaplı drone filosu yönetimi, trafik yoğunluğu dikkate alan planlama, hava koşullarına duyarlı güzergah belirleme gibi daha karmaşık senaryolara ölçeklenebilir şekilde tasarlanmıştır.

## II. KULLANILAN TEKNOLOJİLER

Bu çalışmada, akıllı bir drone teslimat sistemi geliştirilmiştir. Sistem; teslimat önceliklerini, drone kapasitelerini, batarya durumlarını, uçuş mesafelerini, zaman pencerelerini ve uçuş yasak bölgeleri dikkate alarak rotalama ve görev atama problemlerini çözmeyi amaçlamaktadır. Çözüm mimarisi, iki temel algoritma üzerine inşa edilmiştir: A\* algoritması (rota planlama) ve Genetik Algoritma (GA) (teslimat-drone eşleştirmesi). Sistemin modüler yapısı aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır:

### A. Sistem Mimarisi

#### 1. Giriş Verileri:

- Drone özellikleri (batarya, taşıma kapasitesi, hızı, başlangıç konumu)
- Teslimat bilgileri (ağırlık, konum, öncelik, zaman penceresi)
- Uçuş yasak bölgeleri (çokgen şeklinde koordinatlar, aktif zaman aralığı)

#### 2. Ön İşleme:

- Uçuş yasak bölgelerin zaman filtrelemesi,
- Teslimatların zaman pencerelerine göre filtrelenmesi,
- Uygun dronelere uygun teslimatların eşleştirilmesi için filtreleme.

### B. Rota Planlama:

- A\* Algoritması

A\* algoritması, her drone için başlangıç konumundan hedef teslimat noktasına kadar en kısa ve en güvenli rotayı bulmak amacıyla kullanılmıştır. Algoritma aşağıdaki adımları içerir:

1. Her adımda maliyet fonksiyonu  $f(n)=g(n)+h(n)$  hesaplanır.
  - o  $g(n)$ : Kaydedilmiş maliyet (başlangıçtan mevcut noktaya kadar),
  - o  $h(n)$ : Heuristik (genellikle düz çizgi uzaklık).
2. A\* algoritması, harita üzerinde engelleri (no-fly zone) tespit ederek, bu alanlardan kaçınacak şekilde yön bulur.
3. A\* her teslimat noktası için bireysel rota üretir ve toplam uçuş mesafesi ile zaman maliyeti hesaplanır.

### C. Teslimat Atama:

- Genetik Algoritma

Teslimatların uygun dronelere atanması problemi, NP-hard bir problem olarak ele alınmış ve çözüm için Genetik Algoritma kullanılmıştır. GA aşağıdaki genetik işlemler ile çalışır:

1. Başlangıç Popülasyonu: Her birey, bir teslimat-dron atama planını temsil eder.
  2. Uygunluk Fonksiyonu (Fitness):
    - o Toplam uçuş süresi,
    - o Batarya yeterliliği,
    - o Taşıma kapasitesine uyum,
    - o Teslimat önceliği ve zaman penceresi uygunluğu.
  3. Seçilim: Elitizm stratejisi ile en iyi bireyler doğrudan bir sonraki nesle aktarılır.
  4. Çaprazlama: Tek noktalı çaprazlama ile iki bireyden yeni bireyler türetilir.
  5. Mutasyon: Rastgele mutasyon ile çeşitlilik korunur.
  6. Durma Kriteri: Maksimum nesil sayısı ya da uygunluk değeri eşiği sağlandığında durur.
- D. Entegrasyon ve Güncelleme
  - GA çıktısı olan eşleşmeler, A\* algoritması ile detaylı rota bilgileriyle zenginleştirilir.
  - Her teslimat sonrası dronenin konumu, bataryası ve zaman bilgisi güncellenir.
  - Tüm sistem zamana bağlı şekilde senkronize edilmiştir.

### III. KARŞILAŞTIRMALI ALGORITMA ANALİZİ

A\* algoritmasının zaman karmaşıklığı genel olarak  $O(b^d)$  şeklindedir.

Burada:

- $b$ , her düğümden çıkabilecek olası yön sayısını,
- $d$ , çözüm yolunun derinliğini ifade eder.

Uygulamada, no-fly zone'ların varlığı algoritmanın genişletmesi gereken düğüm sayısını artırabilmekte ve rota planlama süresini uzatabilmektedir. Ancak küçük ve orta boyutlu haritalarda gerçek zamanlı uygulama için yeterince hızlıdır.

Genetik algoritmanın zaman karmaşıklığı şu şekildedir:

$$O(g \times p \times e)$$

- Burada:

- o  $g$ : Nesil (generasyon) sayısı,
- o  $p$ : Popülasyon büyüklüğü,
- o  $e$ : Her bireyin değerlendirme süresi (uygunluk fonksiyonunun hesaplanması).

GA, büyük çözüm uzaylarında optimal çözüme yakın sonuçlar üretme konusunda başarılıdır, ancak deterministik değildir ve çalıştırmalar arasında farklı sonuçlar elde edilebilir.

Tablo 1 Karşılaştırma tablosu

Özellik	A* Algoritması	Genetik Algoritma (GA)
Uygulama Amacı	Rota planlama	Teslimat-drone eşleştirilmesi
Yapısı	Heuristik, deterministik	Evrimsel, stokastik
Zaman Karmaşıklığı	$O(bd)O(b^d)$	$O(g \cdot p \cdot e)O(g \cdot p \cdot e)$
No-Fly Zone Uyum	Aktif olarak dikkate alır	Dolaylı etki (rota A* ile belirlenir)
Çözüm Kalitesi	En kısa yolu bulur	Yakın-optimal eşleşme üretir
Esneklik	Düşüktür, tek problem çözümüne odaklı	Yüksek, çok hedefli optimizasyon yapılabilir
Hızlı Çözüm Sağlama	Küçük haritalarda hızlı	Geniş arama alanlarında avantajlı

### IV. REFERANSLAR

- [1] P. Hart, N. Nilsson, and B. Raphael, "A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths," *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*, vol. 4, no. 2, pp. 100–107, 1968, doi: 10.1109/TSSC.1968.300136.
- [2] D. E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley, 1989.
- [3] S. Russell and P. Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 3rd ed., Pearson, 2010.
- [4] M. Mitchell, *An Introduction to Genetic Algorithms*, MIT Press, 1998.
- [5] J. van den Berg, S. Patil, and R. Alterovitz, "Motion Planning Algorithms for Autonomous UAVs," *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, vol. 75, no. 1-2, pp. 147–166, 2014.