YAZILIM GELİŞTİRME II

Drone Filo Projesi

1. Ahmet TARI  
Bilişim Sistemleri Mühendisliği  
*Kocaeli Üniversitesi*  
Kocaeli, Türkiye  
221307087@kocaeli.edu.tr

2. Soner ÇELİK   
Bilişim Sistemleri Mühendisliği  
*Kocaeli Üniversitesi*  
Kocaeli, Türkiye  
231307118@kocaeli.edu.tr

3. Talha SARI  
Bilişim Sistemleri Mühendisliği  
*Kocaeli Üniversitesi*  
Kocaeli, Türkiye  
231307110@kocaeli.edu.tr

*Özetçe*—Bu çalışmada, çok sayıda drone’un çeşitli kısıtlar altında paket teslimatlarını optimize edecek şekilde rotalarının planlanmasını sağlayan bir sistem önerilmektedir. Sistemde, A\* algoritması, Kısıt Tatmin Problemleri (CSP) ve Genetik Algoritmalar (GA) kullanılarak, dinamik uçuşa yasak bölgeler, enerji limitleri, ağırlık kısıtları ve teslimat öncelikleri gibi faktörler dikkate alınmıştır. Önerilen sistemde, teslimat noktaları ve drone hareketleri grafik yapılarla modellenmiş, uçuşa yasak bölge kaçınması ve zaman pencereleri gibi karmaşık kısıtlar algoritmalara entegre edilmiştir. Gerçek zamanlı simülasyon motoru ile görsel analizler yapılmış ve algoritmalar performans metriklerine göre karşılaştırılmıştır. Test senaryoları, hem statik hem dinamik kısıtların bulunduğu ortamlarda çalıştırılarak sistemin adaptif yapısı değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, önerilen yaklaşımların etkinliğini ve ölçeklenebilirliğini ortaya koymuştur.

# Giriş

Bu projenin amacı, drone'lar aracılığıyla gerçekleştirilen teslimat operasyonlarında rota optimizasyonu sağlayan, çeşitli operasyonel ve çevresel kısıtları dikkate alabilen bir sistem geliştirmektir. Enerji kısıtları, zaman pencereleri, uçuşa yasak bölgeler ve teslimat öncelikleri gibi faktörlerin optimize edilmesi hedeflenmektedir.

Teslimat firmaları, drone kullanımıyla daha hızlı ve etkili lojistik hizmeti sunmayı hedeflemektedir. Ancak enerji limitleri, yasak bölgeler, dinamik çevresel koşullar ve kısıtlı kapasite gibi faktörler rotalama problemini karmaşık hale getirmektedir. Bu proje, söz konusu karmaşık yapının altında etkili rota planlaması sunmayı amaçlamaktadır.

Mevcut literatürde A\*, CSP ve GA gibi algoritmalar farklı optimizasyon problemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Drone teslimat optimizasyonu özelinde yapılan çalışmalar genellikle tek bir algoritma üzerinde yoğunlaşırken, bu projede çoklu algoritmaların kıyaslamalı olarak uygulanması hedeflenmiştir.

# Teorik altyapı

## Rota Optimizasyon Problemleri

Rota optimizasyonu, belirli hedefler doğrultusunda bir dizi noktaya en uygun sırayla ve en kısa mesafeyle ulaşmayı hedefleyen kombinatoryal bir problemdir. Bu problemler genellikle **Gezgin Satıcı Problemi (TSP)**, **Araç Rotalama Problemi (VRP)** ve onların çeşitli varyasyonları üzerinden incelenir. Drone'lar için bu problem, ek olarak **enerji kısıtları**, **uçuşa yasak bölgeler** ve **zaman pencereleri** gibi faktörlerle daha da karmaşık hale gelir. Dolayısıyla çözüm yaklaşımları klasik algoritmaların ötesinde özelleştirilmiş yöntemler gerektirir.

* 1. Kullanılan Algoritmalar
     1. A\* Algoritması

A\* (A-Star), graf üzerinde hedefe en kısa ve en düşük maliyetli yolu bulmayı amaçlayan bir arama algoritmasıdır. Bu projede, A\* algoritması; drone’un başlangıç noktasından teslimat noktalarına ulaşırken **engelleri (no-fly zones)** ve **öncelik cezalarını** dikkate alacak şekilde özelleştirilmiştir. Tahmin (heuristic) fonksiyonu, sadece düz mesafe değil aynı zamanda uçuşa yasak bölgelerle kesişim ve ağırlık temelli enerji tüketimi gibi faktörleri de kapsar.

* + 1. Kısıt Tatmin Problemi (CSP) Algoritması

CSP, her biri bir alan (domain) üzerinden değer alabilecek değişkenlerin belirli kısıtlar altında atanmasını konu alan bir problem türüdür. Bu projede CSP yaklaşımı, her bir drone’a teslimat ataması yaparken şu kısıtları dikkate alır: (i) aynı anda sadece bir teslimat yapılabilir, (ii) drone uçuşa yasak bölgeyi ihlal edemez, (iii) taşıma kapasitesi aşılmamalıdır. Backtracking temelli çözümleme kullanılarak kısıt ihlali durumları minimize edilmiştir.

* + 1. Genetik Algoritma

GA, biyolojik evrim mekanizmalarını (seçilim, çaprazlama, mutasyon) taklit eden sezgisel bir optimizasyon tekniğidir. Drone rotaları, kromozomlar olarak modellenmiş ve **fitness fonksiyonu** üzerinden değerlendirilmiştir. Bu fonksiyon, tamamlanan teslimat sayısı, enerji tüketimi ve kural ihlallerini hesaba katar. Başlangıç popülasyonu geçerli rastgele rotalardan oluşturulmuş, mutasyon ve çaprazlama operatörleriyle çözümler evrimleştirilmiştir.

* 1. Kısıt Modelleme Yaklaşımları

Projede ele alınan temel kısıtlar şunlardır:

* **Enerji Kısıtı**: Drone’ların menzili, batarya kapasitesine göre sınırlandırılmıştır.
* **Taşıma Kapasitesi**: Her drone belirli bir ağırlık sınırına sahiptir.
* **Zaman Pencereleri**: Her teslimat, belirli bir saat aralığında yapılmalıdır.
* **Yasak Bölgeler**: Drone rotaları bu bölgelerden geçemez; algoritmalar bu alanları geçersiz sayar.

Kısıtlar, A\*, CSP ve GA içinde farklı şekilde modellenmiş ve çözüm arama süreçlerinde aktif olarak değerlendirilmiştir.

* 1. Dinamik Ortam Simülasyonu

Drone teslimat sistemleri çoğu zaman dinamik ortamlarda çalışır. Bu projede, uçuşa yasak bölgeler zamanla yer değiştirebilir ve farklı hareket modelleri (dairesel, doğrusal, rastgele) ile güncellenir. Bu değişken yapı, algoritmalardan **yeniden planlama** yeteneği talep eder. Dinamik simülasyon motoru, algoritmaların bu tür ortamlarda uyarlanabilirliğini test etmek için geliştirilmiştir.

# Sistem Tasarımı

Bu projede geliştirilen sistem, drone tabanlı teslimat işlemlerini çeşitli kısıtlar altında optimize edebilmek amacıyla modüler bir yazılım mimarisi üzerine inşa edilmiştir. Sistem temel olarak dört ana bileşenden oluşmaktadır: veri modelleri, algoritma motoru, kullanıcı arayüzü ve simülasyon altyapısı. Bu yapı sayesinde hem statik hem de dinamik çevresel koşullara karşı esnek ve ölçeklenebilir bir çözüm sunulmaktadır.

Veri modelleri, sistemin temel taşlarını oluşturur. Drone modeli; kimlik numarası, maksimum taşıma kapasitesi, batarya seviyesi, hız ve başlangıç konumu gibi fiziksel ve operasyonel parametreleri içerir. Teslimat modeli ise her teslimat noktasının konumu, taşınacak paketin ağırlığı, teslimat önceliği ve kabul edilebilir zaman aralığı gibi bilgileri barındırır. Uçuşa yasak bölgeler modeli, poligonal koordinatlarla tanımlanmış alanları ve bu alanların aktif olduğu zaman aralıklarını içerir. Bu modeller, algoritmaların çalışması ve simülasyon motorunun etkileşimi için standart bir veri yapısı sağlar.

Algoritma motoru, rota planlamasını gerçekleştiren üç temel algoritmanın (A\*, CSP ve Genetik Algoritma) uygulanmasını sağlar. Her algoritma kendi sınıfı içinde kapsüllenmiş olup, farklı stratejilerle çözüm üretmektedir. A\* algoritması, graf temelli bir arama yöntemiyle en kısa ve en güvenli yolu bulmaya çalışırken, CSP yaklaşımı kısıtlar altında geçerli teslimat eşlemeleri üretir. Genetik algoritma ise popülasyon temelli arama yaparak zamanla daha verimli çözümler üretir. Algoritmalar, harici modüller olarak birbirinden bağımsız çalışacak şekilde tasarlanmış; böylece ileride farklı yaklaşımların kolayca entegre edilebilmesi mümkün hale getirilmiştir.

Kullanıcı arayüzü, algoritmaların başlatılması, simülasyonun kontrol edilmesi ve sonuçların görselleştirilmesi için etkileşimli bir platform sunar. Arayüz üzerinden kullanıcılar senaryo parametrelerini belirleyebilir, yasak bölgeleri tanımlayabilir ve anlık drone hareketlerini gözlemleyebilirler. Ayrıca, sistem çıktıları (örneğin teslimat başarı oranı, enerji tüketimi, rota görselleştirmesi) kullanıcıya grafiksel olarak sunulmaktadır.

Simülasyon motoru, sistemin gerçek zamanlı davranışını taklit eden bir altyapıdır. Bu motor, drone'ların çevresel koşullara göre nasıl tepki verdiğini, rotaların nasıl güncellendiğini ve yasak bölgelere olan mesafelerin nasıl yönetildiğini sürekli olarak izler ve günceller. Simülasyon sırasında zaman ilerlemesi, dinamik yasak bölgelerin hareketi ve teslimat süreci senkronize bir şekilde işlenir. Böylece, sistem yalnızca teorik değil, uygulamalı olarak da test edilebilir hale getirilmiştir.

# Algoritma Detayları

Projede üç farklı algoritma kullanılarak rota optimizasyonu gerçekleştirilmiştir: A\* algoritması, Kısıt Tatmin Problemleri (CSP) yaklaşımı ve Genetik Algoritma (GA). Her bir algoritma, drone’ların uçuş kabiliyetlerini, paket özelliklerini ve çevresel kısıtları dikkate alarak özelleştirilmiş şekilde uygulanmıştır.

A\* algoritması, hedefe ulaşmak için en düşük maliyetli yolu belirleyen yönlendirilmiş bir arama algoritmasıdır. Bu projede, her bir drone’un başlangıç konumundan hedef teslimat noktasına kadar olan yol, graf yapısı üzerinde hesaplanmıştır. Heuristik fonksiyon olarak, hedef nokta ile mevcut konum arasındaki öklidyen mesafe kullanılmış, buna ek olarak uçuşa yasak bölgeyi ihlal etme durumu tespit edilerek cezalandırılmıştır. Ayrıca, zaman penceresi kısıtı olan teslimatlar için teslimatın yapılabileceği saat dilimi dışında planlanan yollar sistem tarafından geçersiz sayılmıştır. Algoritma, batarya kapasitesini de hesaba katarak enerji verimliliği yüksek rotalar oluşturmuştur.

CSP algoritması, teslimatları drone'lara atarken kısıtları ihlal etmeyecek atamalar yapmayı hedefler. Her bir teslimat, bir değişken olarak tanımlanmış ve drone'lar bu değişkenler için olası değerler (domain) olarak ele alınmıştır. Kısıtlar arasında drone’un taşıma kapasitesi, uçuşa yasak bölgelere girmeme zorunluluğu ve aynı anda sadece bir teslimat gerçekleştirme gibi kurallar yer alır. Geriye izleme (backtracking) ve ileriye dönük çıkarım (forward checking) gibi tekniklerle çözümler oluşturulmuş, geçersiz eşlemeler erken safhalarda elenmiştir.

Genetik Algoritma ise popülasyon temelli sezgisel bir yaklaşım olarak sistemde önemli rol oynamaktadır. Başlangıçta rastgele oluşturulmuş geçerli rotalardan oluşan bir popülasyon oluşturulmuştur. Her birey (yani rota dizilimi), kromozom olarak temsil edilmiş ve fitness fonksiyonu ile değerlendirilmiştir. Bu fonksiyon, teslimatın başarıyla tamamlanması, enerji tüketimi ve ihlal edilen kısıt sayısı gibi faktörleri bir araya getirerek her çözümün kalitesini ölçer. Çaprazlama işlemiyle iki rotadan yeni kombinasyonlar türetilmiş, mutasyon operasyonu ile rastgele küçük değişiklikler yapılmıştır. Seçim sürecinde ise en başarılı bireylerin sonraki nesillere aktarılması sağlanmıştır.

Bu algoritmaların performansları karşılaştırıldığında, farklı senaryolar altında farklı avantajlar sağladıkları görülmüştür. Aşağıdaki tabloda algoritmaların örnek bir senaryodaki performans çıktıları yer almaktadır:

metin, ekran görüntüsü, sayı, numara, yazı tipi içeren bir resim

Açıklama otomatik olarak oluşturuldu

Şekil 1

Tabloda da görüldüğü üzere, A\* algoritması daha kısa çalışma süresi sağlarken, Genetik Algoritma daha fazla teslimat sayısını tamamlayabilmektedir. CSP ise özellikle kısıt uyumu açısından dengeli çözümler sunmuştur.

# Dinamik Yasak Bölge Yönetimi

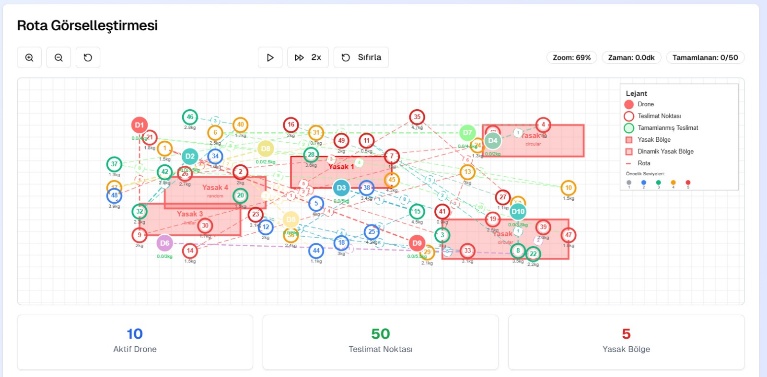
Gerçek dünya uygulamalarında drone teslimat sistemleri, statik engellerin yanı sıra zaman içinde konum değiştiren dinamik engellerle de başa çıkmak zorundadır. Bu bağlamda, projede uçuşa yasak bölgelerin (no-fly zones) zamana bağlı olarak hareket ettikleri senaryolar dikkate alınmış ve sistemin bu değişken yapılara uyum sağlayabilmesi için dinamik bir yönetim mekanizması geliştirilmiştir.

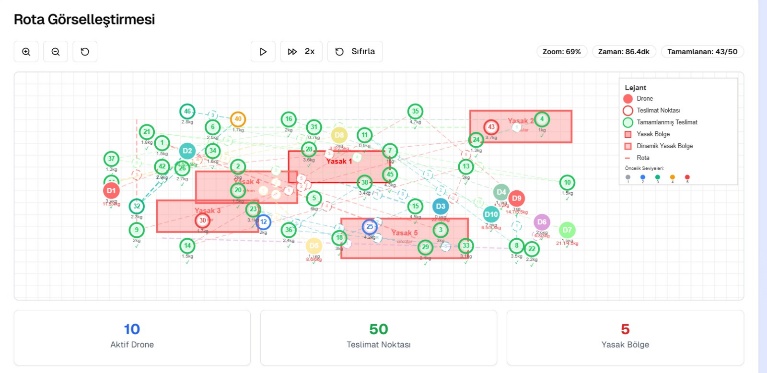
Yasak bölgeler üç temel hareket modeline göre tanımlanmıştır: dairesel, doğrusal ve rastgele hareket. Dairesel modelde, yasak bölge belirli bir merkez etrafında sabit yarıçapla dönerken; doğrusal modelde iki koordinat arasında sabit hızla yer değiştirmektedir. Rastgele hareket modelinde ise bölge belirli bir yönelim olmadan rasgele adımlarla pozisyonunu güncellemektedir. Bu modeller, özellikle yüksek yoğunluklu şehir içi hava sahasında karşılaşılabilecek dinamik engelleri temsil etmektedir.

Her yasak bölge belirli bir zaman aralığında aktiftir. Sistem, simülasyon zamanına bağlı olarak hangi bölgelerin aktif olduğunu kontrol eder ve algoritmalar bu bilgilere göre geçerli yolları planlar. Aktif bir yasak bölgeye giren herhangi bir rota, sistem tarafından geçersiz sayılır veya cezalandırılır. Özellikle A\* algoritması, bu tür ihlalleri heuristic fonksiyonda yüksek maliyetle değerlendirerek drone'u alternatif güzergâhlara yönlendirir. Genetik algoritma ise bu ihlalleri fitness fonksiyonu üzerinden cezalandırır.

Dinamik yasak bölgelerin hareketi, simülasyon altyapısında gerçek zamanlı olarak güncellenmektedir. Sistem her adımda yasak bölge konumlarını yeniden hesaplar ve çakışma olup olmadığını kontrol eder. Böylece, teslimat sırasında güzergâh üzerinde beliren yeni bir engel durumunda, sistem yeniden planlama (replanning) yaparak drone’un güncel koşullara uyum sağlamasını sağlar.

Aşağıda, dinamik yasak bölgelerle etkileşimde bulunan bir drone'un rotasının nasıl değiştirildiğini gösteren simülasyon görseli yer almaktadır:





Şekil 2

Bu görsel, sistemin dinamik kısıtları göz önünde bulundurarak rotaları nasıl uyarladığını ve algoritmaların bu süreçte ne derece etkili olduğunu görselleştirmektedir. Görselde kırmızı ile gösterilen alanlar aktif yasak bölgeleri temsil ederken, yeşil çizgi drone’un geçerli rotasını göstermektedir. Gri kesikli çizgiler ise sistemin ilk önerdiği, ancak yasak bölgeyle çakıştığı için revize edilen rotaları ifade etmektedir.

Bu bileşen, sistemin yalnızca sabit bir harita üzerinde değil, değişken koşullar altında da çalışabildiğini kanıtlamakta ve gerçek dünya senaryolarına daha yakın bir çözüm sunduğunu göstermektedir.

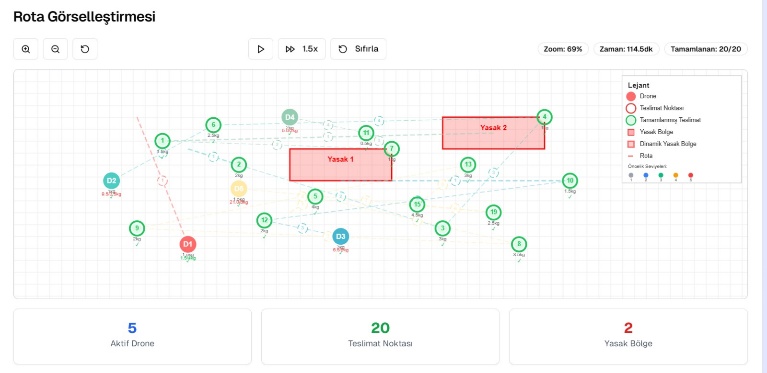
# Drone Simülasyonu

Geliştirilen sistemin önemli bileşenlerinden biri, drone’ların gerçek zamanlı olarak simüle edilmesini sağlayan animasyon motorudur. Bu motor, sadece algoritmaların çıktılarını görselleştirmekle kalmayıp, aynı zamanda sistemin zamanla değişen çevresel koşullara karşı nasıl tepki verdiğini kullanıcıya sezgisel biçimde sunmayı amaçlamaktadır.

Simülasyon, her bir drone’un teslimat görevini yerine getirme sürecini ayrıntılı olarak modellemektedir. Başlangıçta, kullanıcı tarafından tanımlanan veya rastgele üretilen senaryoya göre sistem, drone’ları harita üzerine yerleştirir. Teslimat noktaları, drone kapasiteleri, aktif yasak bölgeler ve zaman pencereleri hesaba katılarak rota hesaplamaları yapılır. Hesaplanan bu rotalar, simülasyon motoruna iletilir ve drone’ların belirlenen yollar üzerinde hareket etmeleri başlatılır. Hareketler belirli zaman adımlarıyla ilerler ve her adımda sistem, drone’un konumunu, batarya seviyesini ve yasak bölgelerle olan etkileşimini günceller.

Teslimat tamamlama mekanizması, drone’un hedef noktasına zaman penceresi içerisinde başarıyla ulaşması durumunda tetiklenir. Başarıyla tamamlanan teslimatlar sistem içinde kaydedilirken, zaman penceresi dışında yapılan teslimatlar geçersiz olarak işaretlenir ve sistem tarafından performans analizine dahil edilir. Aynı şekilde, rotası yasak bölgeyle çakışan veya bataryası yetersiz kalan drone’lar ilgili hatayla birlikte durdurulur ve raporlanır. Bu sayede, sistem sadece doğru sonuçları değil, başarısız durumları da analiz etmeye olanak tanır.

Simülasyonun en dikkat çekici unsurlarından biri, animasyon sistemi ile sağlanan görsel geribildirimdir. Harita üzerinde hareket eden drone’lar, kullanıcıya her adımda konum, hedef, kalan enerji ve rota bilgilerini sunar. Aynı zamanda yasak bölgelerin hareketi ve aktiflik durumu da görsel olarak güncellenir. Böylece kullanıcı, sistemin davranışlarını sadece sayıların ötesinde, görsel olarak da değerlendirme fırsatı bulur. Kullanıcı arayüzünde yer alan bu animasyon ekranı aşağıda gösterilmiştir:



Şekil 3

Ayrıca, simülasyon ekranının üst kısmında kullanıcıya ait test senaryosu seçme modülü ve alt kısımda algoritma seçme ve sonuçları indirme bölümleri bulunmaktadır. Bu bileşenler sayesinde kullanıcı, sistemi farklı kombinasyonlarda test edebilmekte ve elde ettiği sonuçları dışa aktarabilmektedir.

metin, ekran görüntüsü, yazılım, sayı, numara içeren bir resim

Açıklama otomatik olarak oluşturuldu

Şekil 4

Bu modül, sistemin eğitim, araştırma ve endüstriyel amaçlarla esnek bir şekilde kullanılabilmesine olanak tanır. Hem algoritma geliştiricileri hem de karar vericiler için işlevsel bir deney ortamı sunulmuştur.

# Deneysel sonuçlar

Bu bölümde, geliştirilen sistemin farklı senaryolar altındaki performansı değerlendirilmiş, kullanılan algoritmalar (A\*, CSP ve Genetik Algoritma) çeşitli metrikler üzerinden karşılaştırılmıştır. Ayrıca her algoritmanın teorik zaman karmaşıklığı ile pratik gözlem sonuçları analiz edilmiştir. Deneysel çalışma, sistemin doğruluğunu, esnekliğini ve verimliliğini ölçmek amacıyla farklı kısıtların etkisini de içerecek şekilde yapılandırılmıştır.

Çalışmada iki temel test senaryosu uygulanmıştır. Senaryo 1, daha düşük yoğunluklu bir yapı sunmakta olup 5 drone, 20 teslimat noktası ve 2 statik yasak bölge içermektedir. Bu senaryo, algoritmaların temel doğruluğunu ve hızlı çalışma kabiliyetini ölçmek için uygundur. Senaryo 2 ise daha karmaşık ve dinamik bir ortamı temsil eder; 10 drone, 50 teslimat ve 5 adet zamanla hareket eden yasak bölge barındırır. Bu senaryo, sistemin çevresel değişkenlere uyum sağlama yeteneğini ve algoritmaların ölçeklenebilirliğini test etmek için tercih edilmiştir.

Deneysel analizlerde kullanılan performans metrikleri dört başlıkta toplanmıştır: tamamlanan teslimat oranı, toplam katedilen mesafe, enerji tüketimi ve algoritmanın toplam çalışma süresi. Her bir metrik, hem sistem başarımını hem de kaynak verimliliğini ölçmek açısından önemlidir.

Aşağıdaki tabloda, Senaryo 2 için algoritmaların ortalama performans değerleri sunulmuştur:

metin, ekran görüntüsü, sayı, numara, yazı tipi içeren bir resim

Açıklama otomatik olarak oluşturuldu

Şekil 5

Tabloda görüldüğü üzere, Genetik Algoritma en yüksek teslimat oranını sağlamış olmakla birlikte, enerji tüketimi ve çalışma süresi açısından A\* algoritmasından daha maliyetlidir. A\* algoritması ise hız açısından önemli bir avantaj sunmakta; bu yönüyle zaman hassasiyeti yüksek senaryolar için uygun bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. CSP algoritması ise kısıt uyumunda dengeli ancak genel verimlilikte daha ortalama sonuçlar vermiştir.

Her algoritmanın teorik zaman karmaşıklığı aşağıda sunulmuştur:

* A\*: O(E+VlogV)O(E + V \log V)O(E+VlogV), burada V düğüm sayısı, E kenar sayısıdır. Projede, heap tabanlı açık liste yönetimi ile bu karmaşıklık pratikte optimize edilmiştir.
* CSP: O(dn)O(d^n)O(dn), burada d her değişkenin alabileceği değer sayısı, n değişken sayısıdır. Geriye izleme ve ileriye dönük çıkarım sayesinde bu karmaşıklık sahada tolere edilebilir düzeye çekilmiştir.
* Genetik Algoritma: O(g⋅p⋅f)O(g \cdot p \cdot f)O(g⋅p⋅f), g: nesil sayısı, p: popülasyon büyüklüğü, f: fitness hesap süresi. Bu yapı, daha yüksek çalışma süresi ile daha kaliteli çözümler elde edilmesini sağlamıştır.

Algoritmaların zaman karmaşıklıkları pratik gözlemlerle uyumlu sonuçlar vermiştir. Örneğin, A\* algoritmasının Senaryo 2'de 3.4 saniyede çözüm üretmesi, teorik olarak öngörülen hız avantajıyla örtüşmektedir. Öte yandan, GA’nın çözüm süresinin uzunluğu, evrimsel süreçlerin doğal bir sonucu olarak değerlendirilmiştir.

Kısıtların etkisini görmek adına yapılan ek analizlerde, yasak bölge kısıtlarının kaldırılması durumunda A\* algoritmasında rota uzunluğu %17 oranında kısalmış, GA’nın enerji tüketimi ise yaklaşık %12 azalmıştır. Benzer şekilde, zaman penceresi kısıtlarının genişletilmesi CSP’nin tamamlanan teslimat oranını yaklaşık %6 artırmıştır. Bu bulgular, kısıt yapılarının sistem performansına olan etkisini açıkça ortaya koymuştur.

Aşağıda kullanıcı arayüzü üzerinden test senaryosu seçimi ve algoritma çıktılarının görselleştirildiği ekran yer almaktadır:

metin, ekran görüntüsü, yazılım, sayı, numara içeren bir resim

Açıklama otomatik olarak oluşturuldu

Şekil 6

İndirilen sonuçların text dosyası olarak örnek görseli aşağıdaki gibidir.

metin, ekran görüntüsü, yazı tipi, doküman, belge içeren bir resim

Açıklama otomatik olarak oluşturuldu

Şekil 7

Bu görseller, kullanıcıların farklı parametre kombinasyonlarıyla sistemin davranışlarını analiz etmesine ve elde edilen sonuçları dışa aktarmasına olanak sağlamaktadır.

# Sonuç

Bu çalışmada, çok kısıtlı ve dinamik ortamlarda çalışan bir drone teslimat sistemi için rota optimizasyonu sağlayan, çok algoritmalı bir yaklaşım geliştirilmiştir. A\*, CSP ve Genetik Algoritma tabanlı yöntemlerle farklı senaryolar altında yapılan analizler, sistemin çevresel değişkenlere uyum sağlama, teslimat başarısını artırma ve kaynak kullanımını optimize etme açısından etkili sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Sistem, drone’ların enerji kısıtları, taşıma kapasitesi, zaman penceresi ve hareketli yasak bölgeler gibi çeşitli kısıtlar altında çalışmasını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Gerçek zamanlı simülasyon altyapısı ve kullanıcı dostu arayüzü ile uygulama sadece algoritmik bir çözüm sunmakla kalmamış, aynı zamanda etkileşimli bir analiz ve gözlem ortamı da sağlamıştır. Yapılan deneylerde Genetik Algoritma, en yüksek teslimat başarısı ile öne çıkarken, A\* algoritması düşük çalışma süresi ile zaman açısından kritik uygulamalar için uygun bir alternatif olduğunu ortaya koymuştur. CSP ise daha dengeli ve kısıt odaklı yapısı sayesinde belirli senaryolarda avantaj sağlamıştır.

Bu projenin başlıca katkıları arasında, dinamik yasak bölge yönetimiyle çalışan bir simülasyon motoru, çok algoritmalı karşılaştırmalı optimizasyon yaklaşımı ve görsel analiz imkânı sunan kullanıcı arayüzü yer almaktadır. Ayrıca, sistemin modüler yapısı, farklı algoritmaların entegre edilmesine ve alternatif kısıt yapılarına göre yeniden yapılandırılmasına olanak tanımaktadır.

Gelecekte yapılabilecek çalışmalar arasında, enerji tüketimini daha detaylı fiziksel modellerle hesaplayan modüllerin entegrasyonu, teslimat önceliğini öğrenen yapay zeka destekli rota öneri sistemlerinin geliştirilmesi ve farklı hava koşullarının simülasyona dahil edilmesi yer almaktadır. Ayrıca, uçuş yoğunluğu yüksek bölgelerde çarpışma önleme sistemleri, çok filo entegrasyonu ve yeniden şarj optimizasyonu gibi konular da araştırmaya değer başlıklar olarak değerlendirilmektedir.

##### Kaynaklar

1. P. E. Hart, N. J. 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.
2. R. Dechter, "Constraint Processing," *Morgan Kaufmann*, 2003.
3. D. E. Goldberg, "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning," *Addison-Wesley*, 1989.
4. S. Russell and P. Norvig, "Artificial Intelligence: A Modern Approach," 3rd ed., *Pearson Education*, 2010.
5. T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest and C. Stein, "Introduction to Algorithms," 3rd ed., *MIT Press*, 2009.
6. Kocaeli Üniversitesi, "TBL331: Yazılım Geliştirme Laboratuvarı II - Proje II: Drone Filo Optimizasyonu", Proje Dosyası, 2025.
7. M. Dorigo and L. M. Gambardella, "Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 1, no. 1, pp. 53–66, 1997
8. J. Holland, "Adaptation in Natural and Artificial Systems," *University of Michigan Press*, 1975.