

## GERÇEK ZAMAN KISITLARI ALTINDA SEYRÜSEFER PLANLAMAYA YENİ BİR YAKLAŞIM

Ferhat Uçan <sup>(a)</sup>, D. Turgay Altılar <sup>(b)</sup>

<sup>(a)</sup> TÜBİTAK BİLGEM BTE, 41470, Gebze, Kocaeli, ferhat.ucan@bte.tubitak.gov.tr

<sup>(b)</sup> İTÜ Bilgisayar Müh. Böl. 34469, Maslak, İstanbul, altilar@itu.edu.tr

### ÖZ

Gerçek zaman kısıtları altında seyrüsefer planlama, değişken ortam koşullarında hava aracı için minimum yakıtla en güvenilir, en kısa yoldan intikali tamamlayabilmesi için gerekli çözümün bulunmasını gerektirir. Enlem, boylam koordinatları ve yükseklik değerleri ile tanımlanan uçuş noktalarının bazıları arasında geçiş yolları bulunmaktadır. Bu yol parçalarının uzunluk, güvenlik, yükseklik gibi rastlantısal olarak değişebilen kısıtları mevcuttur. Problemin en uygun çözümü, tüm amaç fonksiyonlarını birlikte eniyileyen çözümdür. Böyle bir çözüme ulaşmak çoğunlukla zordur. Çünkü genellikle göz önüne alınan kısıtlar birbiriyle çelişkili ve negatif yönde etkileşimlidir. Problem uzunluk, yükseklik ve güvenlik koşullarını kısıt olarak değerlendirildiğinden çok amaçlı eniyileme problemidir. Gerçekleştirilen sistem uçuş planı tasarlama ve yürütme olmak üzere iki alt sistemden oluşmaktadır. Uçuş planı tasarlama alt sisteminde, hava araçlarının, bir intikal başlangıç noktasından hedef noktasına en güvenilir, en kısa, en düz yoldan intikali evrimsel yöntemle, genetik algoritma ile planlanmıştır. Uçuş planı yürütme alt sistemi sağladığı yatay ve dikey seyrüsefer güdüm fonksiyonlarıyla tüm uçuş bacakları için, istenilen kalkış noktasından bir sonraki varış noktasına planlanan intikali gerçekleştirir. Problem çözümünde tasarlanan alt sistemler üç boyutlu çizge yapısını kullanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Seyrüsefer Planlama, Uçuş Planı Simülasyonu, Çok Amaçlı Eniyileme, Karar Destek Amaçlı MODSİM

## A NEW APPROACH TO NAVIGATION PLANNING UNDER REAL TIME CONSTRAINTS

### ABSTRACT

Navigation planning under real time constraints requires finding the necessary solution for the transition of the air vehicle from the most secure, shortest path with minimum

fuel consumption under changing environment conditions. There are transition paths between some of the waypoints that are defined by latitude, longitude and altitude values. There are constraints of the transition paths like distance, security and altitude that can change casually. The optimum solution of the problem is the solution which optimizes all objective functions. Finding such a solution is usually difficult. Because usually constraints that are considered in the problem are contradictory and interact negatively with each other. Since the problem considers distance, altitude and security conditions as distinct constraints, it is a multi-objective optimization problem. The system consists of two subsystems, one of these subsystems is flight planning subsystem and the other one is flight plan execution subsystem. In the flight planning subsystem, the most secure, shortest and smoothest flight path transition of the air vehicles from the source waypoint to the target waypoint is planned by evolutionary method and genetic algorithm. Flight plan execution subsystem executes the planned flight path from the desired departure waypoint to the next arrival waypoint owing to the lateral and vertical navigation guidance functions. The two subsystems developed uses 3-D graphs for the solution.

**Keywords:** Navigation Planning, Flight Plan Simulation, Multi Objective Optimization, Decision Support Motivated MODSIM

## 1. GİRİŞ

İntikal problemi çok genel bir problemdir. Trafikte araç rotalamada, askeri uygulamalarda, robotik uygulamalarda, şehir ulaşımında bir yerden bir yere hangi hat üzerinden gidileceğini belirlemede, ağ üzerinde veri paketlerini yönlendirmede kullanılabilir. Bu çalışmada hava araçları için seyrüsefer planlama çalışması yapıldığı için bir uçuş sisteminde kullanılması olası koşullar ve amaçlar düşünülerek çözüm geliştirilmiştir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde standart yol bulma problemi için geliştirilen Dijkstra, Floyd algoritmaları, Neural Network çözümü gibi yöntemlerin problemin kısıtları gerçek zamanlı olduğunda düzgün sonuç vermediği görülmüştür. Evrimsel yöntemler ise uygunluk fonksiyonu sayesinde sadece yolun uzunluğuna değil, güvenliğine ve yoğunluğuna da bakabilmekte, dinamik değişen ortam şartları için problemin çözümüne uygun bir yaklaşım sunabilmektedir [1].

Dinamik intikal planlama probleminin, çok iyi bilinen üç çözümü; Franciosa, Ramalingam Reys ve Frigioni çözümleridir [2, 3, 4]. Franciosa tarafından geliştirilen çözüm kullanılmaz hale gelen bir düğümün daha sonra sisteme tekrar eklenebilme durumunu gözetmemiştir [3]. Ramalingam Reys yöntemi ortalama çalışma zamanı açısından, Frigioni yöntemi de en kötü durumdaki çalışma zamanı açısından üstündür [2, 4]. Fakat bu algoritmalar aşağıdaki durumlar göz önüne alındığında bazı kısıtlara sahiptir:

- Mevcut dinamik yol bulma algoritmaları, topolojideki eş zamanlı değişimlere duyarlı değildir, yani herhangi bir anda sadece tek bir değişim olan durumlarda başarılı olarak çalışmaktadır, fakat çevrede eş zamanlı birçok değişim olduğunda bu algoritmalar çözüm üretememektedir.
- Kenar ağırlıklarının istatistiksel olarak ve sürekli değiştiği senaryolar için mevcut algoritmaların başarımı iyi değildir.
- Büyük topolojilerde ve düğüm ve bağlantı sayılarının çok olduğu ağlarda eş zamanlı olarak birçok değişikliğin olduğu durumlarda zaman kısıtı da var ise mevcut algoritmaların kullanımı pek uygun değildir.

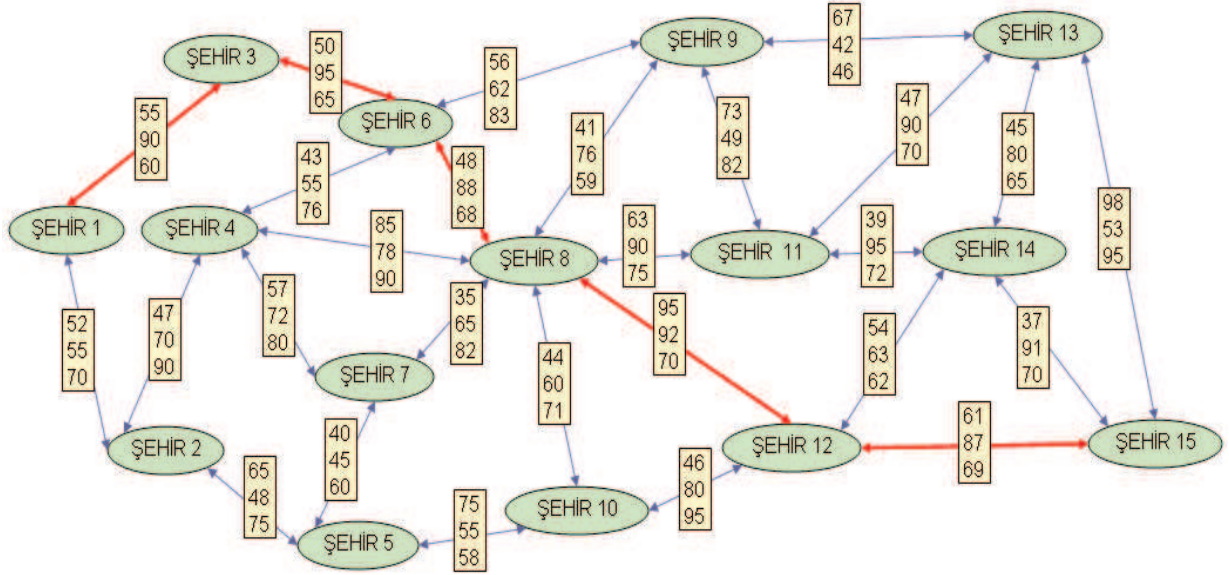
Bu ve benzeri senaryolar dinamik algoritmaların koşmasını gerektiren ortamlar olduğundan mevcut çözümler sınırlı olarak kullanılabilir. Dinamik optimizasyon probleminin verileri ve girdileri zamanla değiştiğinden, her seferinde yeni bir matris ile çözüme baştan başlamak yerine, bu çalışmada olduğu gibi, sezgisel algoritmanın üretim döngüsü ve amaç fonksiyonu kullanılarak bir önceki nesildeki çözüme yakın bireylerin seçimiyle daha iyi çözümler üretilebilir. Bilgisayar dünyasında çözümsüz veya NP karmaşık olarak nitelendirilen bazı gerçek hayat problemlerine son yıllarda evrimsel eniyileme sınıfındaki yöntemlerle çözümler getirilmeye çalışılmaktadır [5].

## 2. ÇİZGE KURAMI

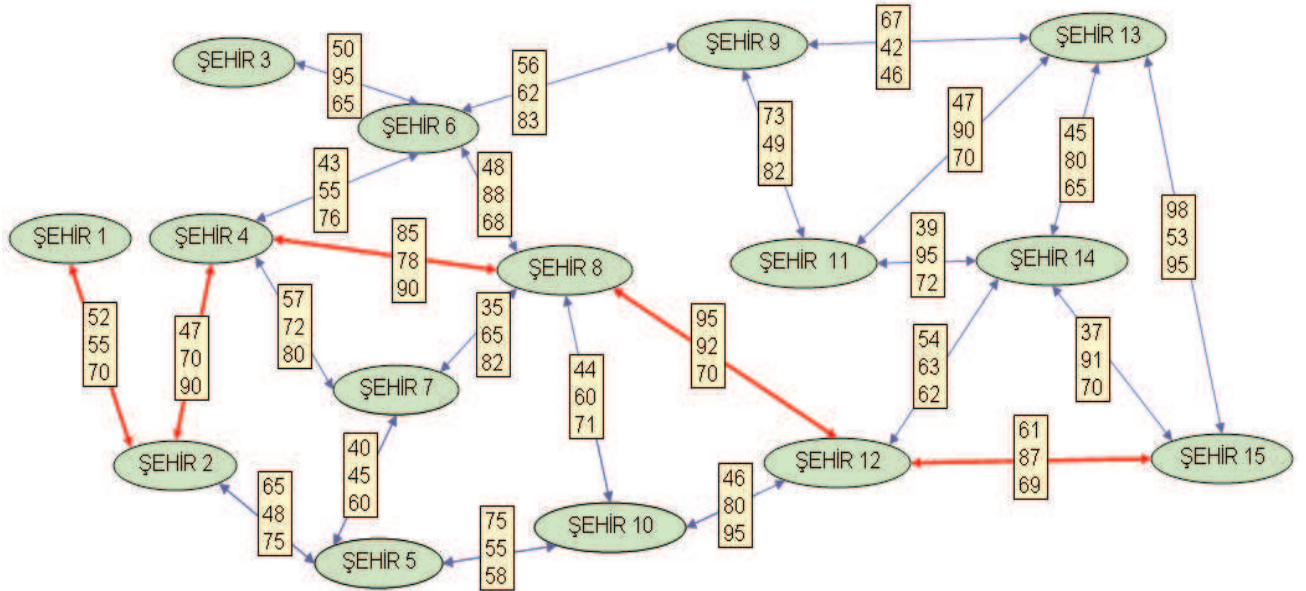
Çizge Teorisi, bir olay ve ifadenin düğüm ve çizgiler kullanılarak gösterilmesi biçimidir. Çizgeler birçok bilgisayar uygulama alanında ve uygulama modellerinde sık sık kullanılmaktadır. Günümüzde birçok örnek çizgelere benzetilebilir. Mesela şehirler arası uçak seferleri veya internetteki bilgisayarların birbirine bağlanması çizge yapısı baz alınarak örneklenebilir. Bağlantı noktaları bulunan ve aralarında yol bağlamında birşey bulunan her tür uygulama çizge yapısına yaklaştırılabilir. Birçok problem çizge veri modeli şeklinde modellendiğinde karmaşık bir halden daha anlaşılır hale gelmektedir. Çizge yapısı, düğümler ve kenarlar kümesinden oluşur. Düğümler kenarların kesişme noktasıdır ve kenarlar da bu düğümleri birbirine bağlar.

Uçuş planı tasarlama alt sisteminde Şekil 1'deki gibi bir şehir haritasında hava araçlarının, bir intikal başlangıç noktasından hedef noktasına en güvenilir, en kısa, en düz yoldan intikali geliştirilen yöntemle planlanmıştır. Şehir haritasında şehirlerarası her bağlantı uzunluk, güvenlik, yükseklik olmak üzere üç değerden oluşan bir vektörle temsil edilmektedir. Uçuş planlaması yapıldığı için, şehirlerarası yolun yüksekliği de dikkate alınmakta ve üç boyutlu çizge ile çözüm yapılmaktadır. Uçuş planı yürütme alt sisteminde kullanılan çizge uçuş noktalarının enlem, boylam ve yükseklikleri ile oluşturulur.

Sistem Şekil 1’de gösterilen başlangıç durumunda çözüm üretirken, dinamik olarak Şehir 1 – Şehir 3, Şehir 8 – Şehir 9, ve Şehir 8 – Şehir 11 arasındaki bağlantılar kooptuğunda algoritmanın önerdiği yeni intikal planı Şekil 2’de gösterildiği gibidir. Algoritma hem güvenlik, hem uzunluk, hem de uçuş yüksekliği koşullarını dikkate almakta ve en güvenilir, en kısa, en düz uçuşu planlamaktadır.



Şekil 1. Uçuş planı tasarlama alt sistemi çizge yapısı



Şekil 2. Dinamik intikal çözümü

### 3. EVRİMSEL UÇUŞ PLANLAMA ALT SİSTEMİ

Uçuş planı tasarlama evresinde başlangıçta uçuş noktalarının enlem, boylam ve yükseklik değerleri ve üç boyutlu çizge yapısındaki rota parçası vektörü okunmaktadır. Daha sonra uçuş noktalarının enlem ve boylam bilgilerinden yararlanarak, arasında yol tanımlı olan noktalar için mesafe hesabı yapılmaktadır. Çok kısıtlı eniyileme problemi için kısıtlar [uzunluk, güvenlik, yükseklik farkı] şeklinde üçlü bir vektör olarak düşünülebilir. Tüm uçuş planı için uzunluğu  $d(x)$ , güvenliği  $s(x)$ , yükseklik farkı  $f(x)$  olarak düşünülürse eniyileme fonksiyonunun kısıtları şunlardır;

$$\min \sum d(x), \max \sum s(x), \min \sum |f(x)|; \{ d : Z \rightarrow R^+, s : Z \rightarrow [0..100], f : Z \rightarrow R \}$$

$$\text{Her } x \text{ için; } d(x) > 0, 0 < s(x) < 100, f(x) > 0$$

Hava aracı için bulunan uçuş planını gerçekleştirmek için gereken yakıt miktarını gösteren fonksiyon  $y(x)$  ve yakıt tankında ölçülen yakıt miktarı  $Y$  ise,  $y(x) < Y$  şartı sağlanmalıdır. Eğer bu şart sağlanmıyorsa alternatif uçuş planları araştırılır. Eğer yakıt tankındaki yakıt miktarı istenen kalkış noktasından varış noktasına gidiş için hiçbir şekilde yeterli değilse mevcut yakıtla gidilebilecek en yakın uçuş noktasına intikal için gerekli planlama yapılır. S70-A Sikorsky atak helikopterine ilişkin gerçek uçuş verileri ve ortam koşulları kullanılarak alınan veri kümesine göre regresyon analizi yapılmış ve uygun yakıt akış hızı denklemi bulunmuştur. Yakıt akış hızı tahmini için regresyon yöntemiyle bulunan formüller şu şekildedir;

Sıcaklık  $\leq 0$  durumu için:

$$\text{Yakıt akış hızı} = -66.7 + 0.5817 * (\text{Sıcaklık}) - 0.9395 * \sqrt{\text{Yükseklik}} + 17.3483 * \sqrt{\text{Havahızı}} + 5.8181 * \sqrt{\text{Ağırlık}} \quad (1)$$

Sıcaklık  $> 0$  durumu için:

$$\text{Yakıt akış hızı} = -147.77 + 0.4257 * (\text{Sıcaklık}) - 0.7765 * \sqrt{\text{Yükseklik}} + 13.651 * \sqrt{\text{Havahızı}} + 6.9755 * \sqrt{\text{Ağırlık}} \quad (2)$$

Geliştirilen regresyon analizi ile hesaplanan tahmini yakıt akış hızı bilgisi ile uçuş planlama alt sistemi tarafından bulunan en iyi uçuş planındaki toplam uçuş menziline tamamlanıp tamamlanamayacağı bulunur. S70-A Sikorsky helikopterinin ortalama uçuş hızı pilot tarafından ayarlanabilir durumdadır. Varsayılan ortalama uçuş hızı 150 deniz mili / saat, yani yaklaşık 277 km / saat olarak alınmıştır, bu değer güncellendiğinde algoritma yakıt akış hızına göre görevin tamamlanabilme durumunu güncel yakıt akış hızı değerine göre hesaplamaktadır. Regresyon ile bulunan yakıt akış hızı ile ortalama hız değeri çarpılarak mevcut yakıtla gidilebilecek menzil değeri hesaplanır. Eğer uçuş planı alt sisteminin çok kısıtlı eniyileme ile ürettiği uçuş planının gerektirdiği toplam uçuş menzili mevcut yakıtla gidilebilecek uçuş menziline daha büyük ise alternatif uçuş planı bulunur. Eğer hiçbir şekilde mevcut yakıtla tamamlanacak bir uçuş planı

bulunamıyorsa en güvenilir, en kısa, en düz uçuş rotasında hava aracının gidebileceği uçuş noktasına kadar gidebilmesi için gerekli uçuş planı üretilir ve uçuş planı çalıştırma alt sistemine girdi olarak verilir. Şekil 3’de Sikorsky S-70A helikopteri için sıcaklık, yükseklik, hız ve ağırlık kısıtlarına göre değişen gerçek yakıt akış hızı değerleri ve regresyonla tahmini olarak hesaplanan yakıt akış hızı değerleri ve regresyon analizinin hata yüzdesi gösterilmiştir. Gerçek yakıt akış hızı verileri Sikorsky S70-A helikopteri teknik el kitabından alınmıştır [6].

SICAKLIK (Derece)	YÜKSEKLİK (Feet)	HAVA HIZI (Knots)	Ağırlık (LB)	Yakıt Akış Hızı (Lb / saat )	Denklemlerle Bulunan Yakıt	
					Akış Hızı ( Lb / saat )	HATA YÜZDESİ
-30	0	40	6000	480	476,2309712	0,7852143
-30	0	120	10000	685	687,6937049	0,3932416
-30	2000	40	8000	500	503,9338498	0,78677
-30	2000	120	10000	646	645,6779876	0,0498471
-30	4000	40	7000	450	452,9208559	0,6490791
-30	4000	40	8000	482	486,5303698	0,9399108
-30	4000	40	9000	514	518,0971155	0,7971042
-30	4000	40	10000	543	547,9536858	0,912281
-30	6000	40	7000	438	439,566696	0,3576932
-30	6000	40	10000	531	534,599526	0,6778768
-30	6000	120	6000	527	483,7784359	8,2014353
-15	0	40	6000	484	484,9564712	0,197618
-15	0	120	9000	665	666,5626345	0,2349826
-15	2000	40	8000	512	512,6593498	0,1287793
0	2000	40	7000	488	487,7753358	0,0460377
0	2000	40	8000	519	521,3848498	0,4595086
0	4000	40	7000	473	470,3718559	0,555633
15	2000	120	9000	631	635,1738115	0,6614598
15	4000	40	10000	596	593,3830326	0,4390885
15	6000	40	6000	427	425,1156799	0,4412928
15	6000	120	10000	646	645,5484813	0,0698945
30	2000	40	8000	538	540,5102561	0,4665903
30	6000	40	6000	431	431,5011799	0,116283
30	14000	40	7000	442	443,0641872	0,2407663
45	4000	40	9000	573	570,3580672	0,4610703

**Şekil 3.** Sikorsky S-70A Helikopteri Yakıt Akış Hızı Bilgileri

Uçuş planlama alt sistemindeki işlem akışı Şekil 4’deki kod bloğunda gösterilmiştir. Bireylerin kromozomlarla temsili gerçekleştirildikten sonra başlangıç nüfusu oluşturulur. Dinamik ortam şartlarının güncel hali alınarak tasarlanan uygunluk fonksiyonu ile başlangıç nüfustaki bireyler değerlendirilir. Bireyler ebeveyn seçimi aşamasında çiftlere ayrılır ve her bir ikili için çaprazlama yapılır. Çaprazlama aşaması sonrası çevrim içeren yollardaki çevrimler temizlenir. Bazı bireyler için mutasyon yapılarak çeşitlilik sağlanır. Mutasyon sonucu, ebeveyn ve çocuk kromozomlar tekrar uygunluk fonksiyonu ile değerlendirilir, uygunluk değeri yüksek olan bireyler yaşatılır, diğerleri öldürülür. Bu çevrim birey benzerliği ölçütü sağlanıncaya kadar sürdürülür [7].

Algoritma\_Evrimsel\_Ucus\_Planlama (waypoints [N], segments [M]; flight\_plan[K])

1. Uçuş noktalarının enlem, boylam, yükseklik bilgilerini oku
2. Birbirine bağlı uçuş noktalarına ilişkin segment bilgilerini oku
3. Segmentlerin güvenlik bilgisini oku
4. Segmentlerin uçuş yüksekliği değerlerini bul
5. Segmentlerin uzunluk değerini hesapla
6. Kromozom gösterim şekli ile genetik algoritmanın ilk nüfustaki bireyleri kodla
7. do
  - 7.1. Segmentlerin güncel kısıt değerlerini oku
  - 7.2. Çok kısıtlı uygunluk fonksiyonu ile bireyleri değerlendir
  - 7.3. En az bir geni ortak olan bireyleri çiftler şeklinde ayır
  - 7.4. Her çift için çaprazlama ile çocuk kromozomlarını oluştur
  - 7.5. Çaprazlama sonucu oluşan döngüleri düzeltme operatörü ile temizle
  - 7.6. Çeşitliliği sağlamak amacıyla bazı oğul kromozomları için mutasyon işlemini uygula
  - 7.7. Uygunluk fonksiyonu ile yeni bireyleri değerlendir
  - 7.8. Uygunluk değeri yüksek olan çocukları ebeveynleri yerine nüfusa dahil et
8. while (stop\_criteria)
9. Mevcut nüfustaki en yüksek uygunluk değerine sahip bireyi bul

#### Şekil 4. Uçuş Planlama Alt Sistemi Evrimsel Algoritma Akışı

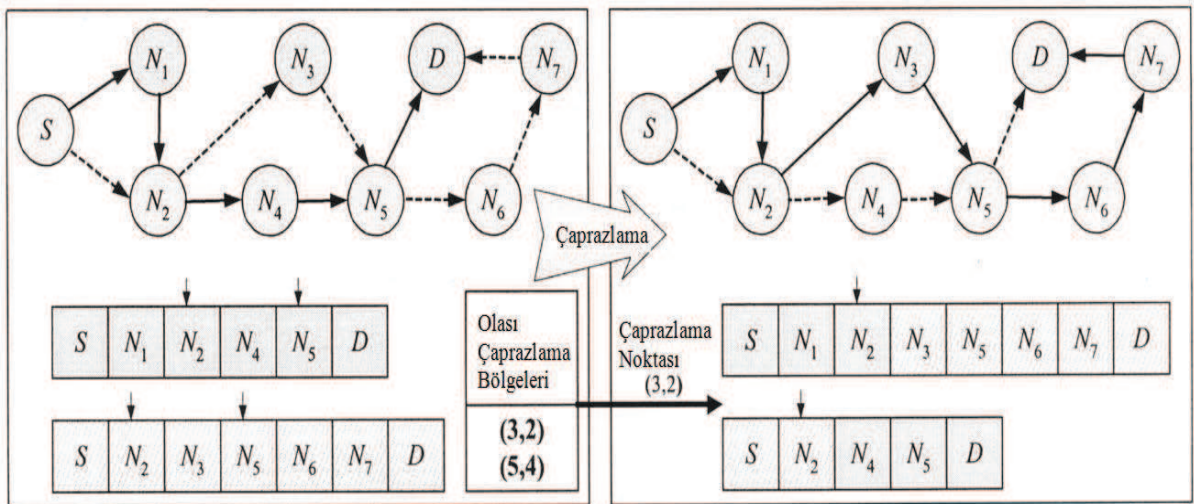
Evrimsel algoritmanın seyrüsefer planlama amacıyla kullanılmasında, her birey başlangıç noktasından bitiş noktasına olan bir rotayı göstermektedir ve kromozom ile kodlanarak gösterilir. Geliştirilen sezgisel yöntemde yolların temsili için değişken uzunluklu kromozomlar kullanılmıştır. Kromozomun ilk geni başlangıç noktası, son geni de bitiş noktasını göstermektedir. Kromozomlar permutasyon kodlama ile kodlanırlar. Her kromozom, rotada üzerinden geçilen düğümlerin numaralarından oluşan bir tamsayı dizisi şeklindedir. Uçuş planlama sisteminde ilk nüfus, rastlantısal olarak oluşturulur. Nüfustaki birey sayısı nesiller boyunca sabit kalan ve genetik algoritmanın çalışmasına etki eden önemli bir faktördür. İlk nüfustaki bireyler rastlantısal olarak üretildiğinden dolayı, herhangi bir veya birden fazla düğüm üzerinde çevrimler oluşabilir. Kullanılan genetik algoritma yaklaşımında bireylerde oluşan çevrimler temizlenmektedir, çünkü bu çevrimler oluştuğu anda kaldırılmazlarsa, çaprazlama sonucu bozuk bireylerin oluşmasına neden olabilirler [8].

Bireylerin, yani çözüm adaylarının kalitesi ve sonuca yakınlığı uygunluk fonksiyonu ile belirlenir. Tüm objektifleri bağlamak amacıyla genel bir uygunluk fonksiyonu tasarlanmıştır. Evrimsel yöntemin bireyleri değerlendirmek için kullandığı amaç fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$\sum_{i=1}^{\text{segmansayısı}} (1 / \text{uzunluk} + 1 / (100 - \text{güvenlik}) + 1 / \text{yükseklik farkı}) \quad (3)$$

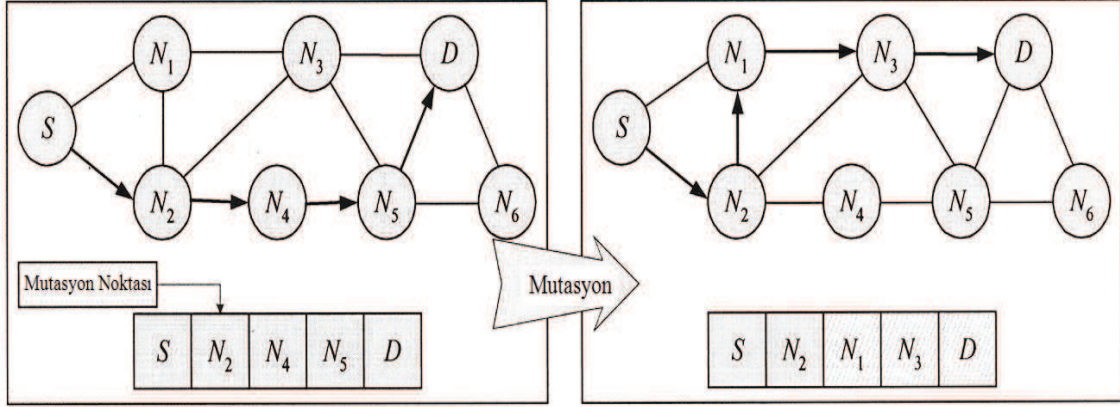
Bireye ait kromozomun uygunluk değeri, rotayı oluşturan her bağlantının uzunluk, güvenlik ve önceki bağlantıya göre yükseklik farkı değerleri kullanılarak bulunur ve bu değer rotayı oluşturan bağlantı sayısına bölünür. İlk bağlantı için yükseklik farkı dikkate alınmaz. Kromozomlar uygunluk değerlerine göre azalan sıra ile sıralanırlar. Toplumun toplam kalitesini arttırmak için uygunluk değeri yüksek kromozomların bir sonraki neslin gen havuzuna alınma şansını yükselten bir seçim operatörü kullanılır. Seçim operatörü sonucun araştırılmasını, çözüm uzayının belirli bölgelerinde yoğunlaştırır. Önerilen algoritmada, sonraki nesil için, en iyi kromozomların korunması ve örneklemeden kaynaklanacak istatistiksel hataların önlenmesi amacıyla rulet tekeri isimli seçim tekniği kullanılmıştır. Rulet tekeri tekniğine göre topluluktaki tüm bireylerin uygunluk değerleri toplanır. Bir bireyin seçilme olasılığı, uygunluk değerinin bu toplam değere oranı kadardır.

Çaprazlama aşamasında, çaprazlama bölgesinden sonraki genler, ebeveyn kromozomlar arasında takas edilir. Çaprazlama noktaları iki kromozdaki genlerin aynı olduğu noktadır. Geliştirilen algoritmada iki kromozom ancak ortak gene sahip çaprazlanabilir. Çaprazlama işlemi sonucu tekrarlı genler içeren çevrimler oluşabilir. Algoritma bir art-işlem gerçekleştirerek oluşan çevrimleri temizler ve kromozomu kısaltır. Mutasyon toplumdaki genetik çeşitliliği artırır ve aday kromozomun genlerini değiştirerek bölgesel en iyi çözümlere takılma durumunu engeller. En kısa yol probleminde bir kromozomun herhangi bir geni değiştiğinde kromozom geçerliliğini yitirebilir. Bu nedenle tek bir gen değişimi için bir dizi gen değiştirilerek kromozomun uygunluğu korunur. Seçilen iki nokta arası alternatif bir rota ile kromozom genetik değişime uğratılır. Örnek bir çaprazlama işlemi Şekil 5’de, örnek bir mutasyon işlemi de Şekil 6’da gösterilmiştir [8].



Şekil 5. Çaprazlama operatörü

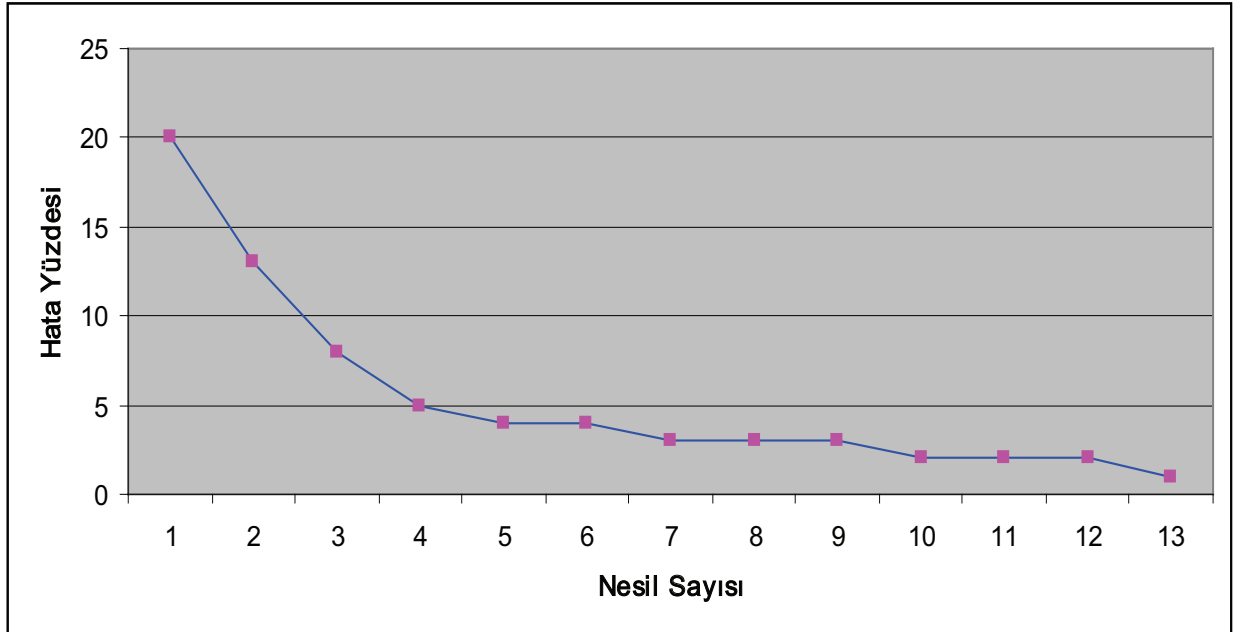




Şekil 6. Mutasyon operatörü

Evrimsel algoritmanın en önemli üç parametresi çaprazlama oranı, mutasyon oranı ve toplumdaki birey sayısıdır. Çaprazlama ve mutasyon oranının belirlenmesi için farklı değerlerle denemeler yapılarak en uygun değerler bulunmuştur. Çaprazlama oranı için denemeler sonucu en uygun değer %80, mutasyon oranı için en uygun değer %1 olarak belirlenmiştir. Kromozom sayısı ise çizgenin karmaşıklığına göre belirlenmektedir.

Geliştirilen evrimsel algoritmada, jenerasyonlar ilerledikçe uygunluk değeri daha yüksek, çözüme daha yakın bireyler popülasyonda yayılır. 50 uçş noktalı, 250 bağlantı içeren bir çizge için nesiller boyu hata oranının nasıl azaldığı Şekil 7'deki grafikte gösterilmiştir. X eksenini jenerasyon sayısını, Y eksenini de nesil içindeki uygunluk değeri en yüksek olan bireyin sonuca uzaklığını gösteren hata yüzdesi değeridir. Bu örnek denemede nüfustaki birey sayısı  $N = 20$  olarak seçilmiştir.



Şekil 7. Genetik algoritma hata oranı ile nesil sayısı ilişkisi

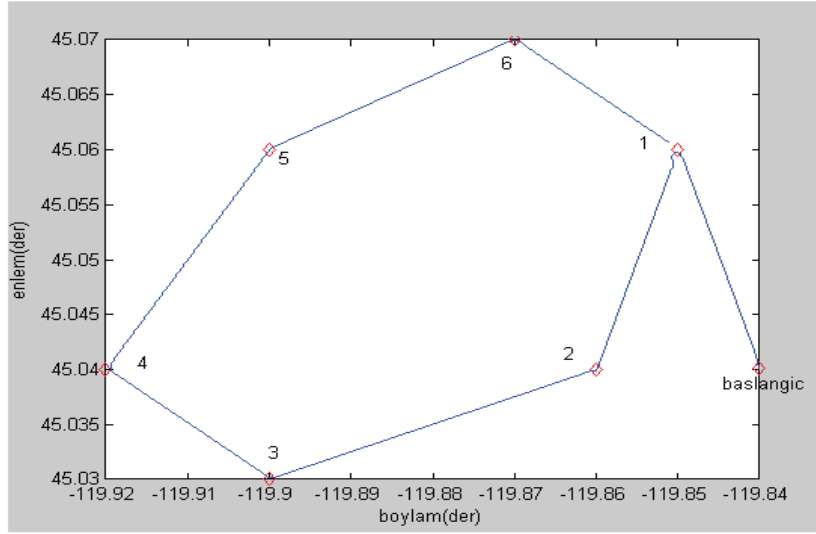
#### 4. UÇUŞ PLANI YÜRÜTME ALT SİSTEMİ

Hava aracının rotasında, istenilen uçuş rotasına göre herhangi bir sapma olduğunda, sapmayla orantılı, hava aracını yeniden o rotaya sokacak yalpa komutu hesaplanır. Ayrıca hava aracının rota değiştirmesi gereken zamanlarda da, bir sonraki rotaya oturmasını sağlayacak yalpa komutunun hesaplanması gerekmektedir. Hava aracını istenilen rotaya oturtmada kullanılan yatay ve dikey güdümlenme algoritmaları kod blokları Şekil 8’de görüldüğü gibidir.

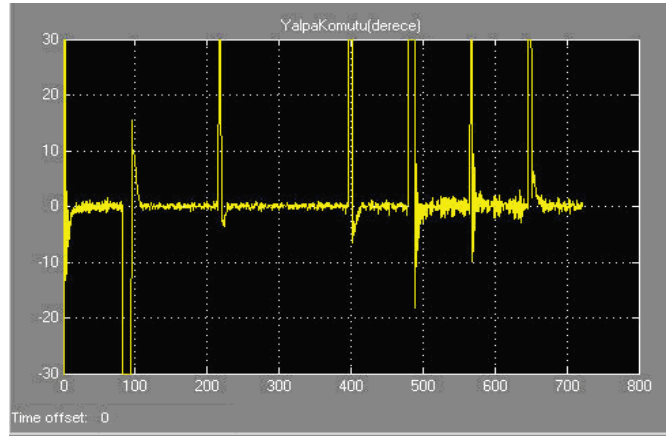
- Yer hızı kuzey ve doğu bileşenlerini kullanarak yer hızı değerini hesapla
  - Kalkış noktasından anlık konum noktasına olan mesafeyi hesapla
  - Kalkış noktasından anlık konum noktasına olan yönelim açısını hesapla
  - Kalkış noktasından varış noktasına olan yönelim açısını, uçuş hattı yönelim açısını hesapla
  - Anlık konum noktasının uçuş hattına dikey mesafesini hesapla
  - İz açısı farkı değerini hesapla
  - Uçuş hattına dik mesafeyi katsayı ile çarpıp, yer hızına böl
  - Bulunan açı değerini doyum fonksiyonu ile (-45 .. +45) aralığına getir
  - Doyum fonksiyonu sonucu oluşan açı değeri ve iz açısı farkı ile yalpa açısı komutunu hesapla
  - Yalpa açısı komutunu doyum fonksiyonu ile (-30 .. +30) aralığına getir
- Y  
A  
T  
A  
Y
- Anlık konum noktasından hedef noktasına olan mesafeyi hesapla
  - Anlık yükseklik bilgisi ile hedef noktasının yüksekliği arasındaki yükseklik farkını hesapla
  - Yükseklik farkını katsayı ile çarpıp, dikey hıza böl
  - Bulunan açı değerini doyum fonksiyonu ile (-75 .. +75) aralığına getir
  - Pisagor bağıntısıyla, yükseklik farkı ve hedef noktasına mesafeden oluşan hipotenüsü hesapla
  - Hipotenüs, yükseklik farkı ve dikey hız bilgileriyle yunus açısı komutu değerini hesapla
  - Yunus açısı komutunu doyum fonksiyonu ile (-60 .. +60) aralığına getir
- D  
İ  
K  
E  
Y

#### Şekil 8. Yatay ve dikey güdümlenme akışları

Enlem ve boylamları koordinat sisteminde gösterilen uçuş noktalarıyla elde edilen çizge yapısı üzerinde en güvenilir en kısa yoldan minimum yakıtle hava aracının uçuş planı çalıştırılır. Bu örnek senaryoda 6 noktalı bir uçuş planı çalıştırılması esnasında tasarlanan yürütme alt sisteminde elde edilen sonuç gösterilmiştir. Uçuş planı yürütme alt sisteminin çalışmasına ilişkin örnek ekran görüntüsü Şekil 9’da, aynı örnek için hesaplanan yalpa açısı komutu Şekil 10’da gösterilmiştir. Bu örnekte, hava aracı ”üzerinden uç” modunda, “ileri” yönde [N 10 m/s, E 10 m/s] esen, 14.14 m/s hızındaki rüzgâr koşullarında planlama alt sistemi ile bulunan uçuş planını izlemektedir. Uçuş başlangıç noktası enlem 45° 04’ 47” ve Boylam 19° 84’ 06”, başlangıç yer hızı 70 m/s, başlangıç irtifası 1985 metredir.



Şekil 9. Uçuş Planı Yürütme Senaryosu



Şekil 10. Yatay seyir yalpa komutu

## 5. SONUÇ

Uçuş ve seyir planlama probleminin çözümünde Floyd, Dijkstra gibi karmaşıklığı belirli, analitik algoritmalar veya A-Star, Neural Network benzeri yaklaşımlar kullanılabilir. Fakat uçuş hattı üzerindeki her uçuş bacağının maliyetinin aynı değerde olmadığı durumlar olabilir. Belirli uçuş bacakları uzunluk ve yükseklik ölçülerinden dolayı tercih edileceği gibi, belirli bağlantılar emniyet açısından kullanılmak istenmeyebilir. Ayrıca uçuş hattı üzerinde dinamik olarak bazı bağlantılar kopabilir. Bu durumda çizge ve bağlantılar değişeceğinden, problem verileri yenilenmiş haliyle tekrar çözülmek durumundadır. Dinamik eniyileme probleminin verileri ve girdileri zamanla değiştiğinden, her seferinde yeni bir matris ile çözüme baştan başlamak yerine, bu çalışmada olduğu gibi, sezgisel algoritmanın üretim döngüsü ve amaç fonksiyonu

kullanılarak bir önceki nesildeki çözüme yakın bireylerin seçimiyle daha iyi çözümler üretilebilir. Genetik algoritmalar, karmaşık objektif fonksiyonları için en sağlam arama tekniklerinden biri olarak görülmektedir [9].

Dinamik yol planlama probleminin çözümünde, matris kullanarak çözüm yapan Dijkstra, Floyd algoritmaları benzeri yöntemlerde, çizgeye yeni düğümlerin ve bağlantıların eklenmesi veya çıkarılması durumunda yine matris değişeceği için, işlem zamanı artar. [10, 11]. Kısıtlar eş zamanlı dinamik değiştiğinde önceki çözümün bir parçasının aynen korunacağı her zaman garanti edilemeyebilir [12]. Sistemde eş zamanlı olarak birden fazla değişiklik gerçekleşebileceğinden, algoritmanın asıl kazanımı yeni durumda uygunluğu yüksek bireylerin topluma yayılmasını sağlamaktır.

## 6. KAYNAKÇA

- [1] C. Hocaoglu, A. C. Sanderson, (1996), Planning multi-paths using speciation in genetic algorithms, IEEE Int. Conf. Evolutionary Computation, Nagoya, Japan.
- [2] Ramalingam G., Reys T., (1996), On the computational complexity of dynamic graph problems, Theoret. Comput. Sci., vol. 158, no. 1, pp. 233–277.
- [3] Franciosa P. G., Frigioni D., Giaccio R., (1997), Semi-dynamic shortest paths and breadth first search in digraphs, Symp. Theoretical Aspects of Computer Science.
- [4] Frigioni D., Marchetti A., Nanni U., (2000), Fully dynamic algorithms for maintaining shortest paths trees, J. Algorithms, vol.34, pp. 251–281.
- [5] Uğur, A. (2008), “Path planning on a cuboid using genetic algorithms”, Information Sciences 178, 3275–3287
- [6] TM 1-70-28D-10, 2002. Operators Manual for Sikorsky S70-A Helicopter 28D Glass Cockpit Helicopter, Chapter 7 Performance Data.
- [7] G. Harik, E. Cantu-Paz, D. E. Goldberg, (1999), The Gambler’s ruin problem, genetic algorithms, and the sizing of populations, Evo. Comp. vol. 7, pp. 231–253.
- [8] Ahn CH, Ramakhrisna R.S, (2002), A Genetic Algorithm for Shortest Path Routing Problem and the Sizing of Populations, IEEE Trans Evolutionary Computation, Vol.6, No.6, pp. 566-579.
- [9] D. E. Goldberg, (1989), Genetic algorithms in search, optimization and machine learning, Addison-Wesley publishing company.
- [10] Hatzakis I., Wallace D., (2006), Dynamic Multi-Objective Optimization with Evolutionary Algorithms: A Forward-Looking Approach, Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO'2006), ACM Press.
- [11] Bosman, P. A. N, (2005), Learning, Anticipation and Time-Deception in Evolutionary Online Dynamic Optimization, GECCO-2005 Workshop on Evolutionary Algorithms for Dynamic Optimization, Washington DC.
- [12] Morrison, R. W., (2004), Designing Evolutionary Algorithms for Dynamic Environments, Springer-Verlag, Berlin.