ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ZEKİ YÖNTEMLER KULLANILARAK İNSANSIZ HAVA ARACI İÇİN DİNAMİK ORTAMDA ROTA PLANLAMASI

Burak GÖNÜLTAŞ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

ANKARA
2020

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ZEKİ YÖNTEMLER KULLANILARAK İNSANSIZ HAVA ARACI İÇİN DİNAMİK ORTAMDA ROTA PLANLAMASI

Burak GÖNÜLTAŞ

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ö.Tolga ALTINÖZ

Modern teknolojinin gelişimi ile birlikte İnsansız Hava Araçları (İHA) sivil ve askeri alanlarda daha fazla yer almaya başlamıştır. İHA'ların kullanımının artmasıyla birlikte uçuş maliyetlerini düşürmek için de yapılan çalışmalar daha popüler hale gelmiştir. Uçuşlarda havada kalış süresini azaltmak maliyeti etkileyen önemli bir faktördür. Havada kalış süresi de takip edilen rotanın uzunluğuna bağlıdır. Dolayısı ile maliyeti düşürmek için rota planlama uygulamaları öncelikli çalışmalar haline gelmiştir. Gerçek dünyada uçuşlarda en kısa rotayı takip etmek her zaman mümkün değildir. Bunun sebebi tehdit içeren çevresel bölge kısıtlarıdır. Gerçek dünyada tehdit içeren bu bölgeler hareketli olabildiği gibi aynı zamanda sonradan da ortaya çıkabilmektedir. Bu çalışmada gerçek dünya koşullarına benzer senaryolarda farklı algoritmalar ile rota planlama çalışmaları yapılmıştır. Rota planlama senaryoları hareketli ve hareketsiz engeller olarak iki ana başlıkta ele alınmıştır. Hareketli engel başlığı da iki alt başlığa ayrılarak engelin sonradan farkedildiği ve engelin hareketli olduğu uygulamalar şeklinde incelenmiştir.

Bu çalışmanın amacı, farklı algoritmaların farklı senaryolarda çalıştırılarak kıyaslanması ve algoritmaların birbirlerine göre avantajlı, dezavantajlı durumlarının incelenmesidir. Bu sayede elde edilen sonuçların gelecekteki çalışmalara yön vermesi beklenmektedir. Bu kapsamda Genetik Algoritma (GA), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Diferansiyel Gelişim Algoritması (DG), Olasılıksal Yol Haritası Planlayıcı (OYH), Hızlıca Keşfeden Rastgele Ağaçlar (HKRA) ve Böcek Tanjant yöntemleri birbirlerinden bağımsız şekilde otuz'ar kez çalıştırılarak sonuçlar istatistiksel özellikleriyle birlikte kaydedilmiş ve yorumlanmıştır.

Eylül 2020, 83 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Rota Planlama, Dinamik Ortam, Evrimsel Algoritmalar, Parçacık Sürü Optimizasyonu, Olasılıksal Yol Haritası Yöntemi, Genetik Algoritma, Hızlıca Keşfeden Rastgele Ağaçlar, Diferansiyel Gelişim, Böcek-Tanjant Algoritması

ABSTRACT

Master's Thesis

ROUTE PLANNING FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES IN DYNAMIC ENVIRONMENT USING INTELLIGENCE METHODS

Burak GÖNÜLTAŞ

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ö.Tolga ALTINÖZ

Unmanned Aerial Vehicles (UAV) are begin to take part in civil and military applications with the development of modern technology. Studies for lowering the flight costs are become more popular with the rising usage of UAV's. Flight time depends on route distance. Consequently, route planning studies have taken primacy for lowering the costs. In the real world fligths it is not always possible to follow shortest route by reason of hazardous environmental areas. In the literature, the studies which named as Vehicle Routing Problem (VRP) focuses on finding the shortest route under these constraints. In the real world, hazardous areas can be not only dynamic but also unforseen areas. In this study, route planning applications which has same conditions with real world are performed with different algorithms. Route planning scenarios are analyzed with two main topic as dynamic and stationary constraints. Dynamic constaint topic is analyzed with two subtopics as applications with pop up and moving constraints.

The aim of this study, comparing different algorithms with different scenarios and researching advantages, disadvantages of algorithms. Thus, it is expected to guide future studies with the results of this study. Within this scope, Genetic Algorithm (GA), Particle Swarm Optimization (PSO), Differential Evolution Algorithm (DE), Probabilistic Routemap Planner (PRM), Rapidly Exploring Random Trees (RRT) and Bug Tangent methods are performed seperately thirty times and results are analyzed with their statistical characteristics.

September 2020, 83 Pages

Key Words: Route Planning, Dynamic Environment, Evolutionary Algorithms, Particle Swarm Optimization, Probabilistic Roadmap, Genetic Algorithm, Rapidly Exploring Random Trees, Differential Evolution, Bug-Tangent Algorithm

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmalarımda bilgi ve tecrübesiyle yol gösterici olan, karşılaştığım sorunlara verdiği tavsiyeler ile isabetli çözümler bulmamı sağlayan saygıdeğer hocam ve danışmanım Doç. Dr. Ö. Tolga ALTINÖZ'e, (Ankara Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Öğretim Üyesi) teşekkür ederim.

Eğitim hayatımın her anında maddi ve manevi desteklerini tüm fedakarlıklarıyla sunan, yaşadığım zorlukların üstesinden gelebilmem için beni daima cesaretlendirerek çalışmaya motive eden kıymetli, annem Gülsüm GÖNÜLTAŞ'a, babam Hayrullah GÖNÜLTAŞ'a ve kardeşim Mehmet Onur GÖNÜLTAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Burak GÖNÜLTAŞ
Ankara, Eylül 2020

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Uygulamadaki engel çeşitlerini gösteren harita örneği 2
Şekil 1.2 Önceden bilinmeyen engeli gösteren harita örneği 3
Şekil 2.1 Genetik algoritma örnek seçim diyagramı 12
Şekil 2.2 Genetik algoritma örnek çaprazlama diyagramı 12
Şekil 2.3 Genetik algoritma mutasyon örneği 13
Şekil 2.4 Pso parçacık hareket adımı 15
Şekil 2.5 İki boyutta DG gösterim şeması (Das ve Suganthan 2011) 18
Şekil 2.6 Dijkstra örnek uygulama basamakları 19
Şekil 2.7 HKRA genişletme işlemi 20
Şekil 2.8 Bug 1 algoritması örnek hareketi 22
Şekil 2.9 Bug 2 algoritması örnek hareketi 23
Şekil 2.10 Bug tanjant algoritması örnek hareketi 24
Şekil 2.11 Hedefe hareket moduna örnek gösterim 25
Şekil 2.12 Sınır takip moduna örnek gösterim 26
Şekil 3.1 Rota planlamada kullanılan haritalar 28
Şekil 3.2 Dinamik engelli rota planlaması yapılacak haritalar 48
Şekil 3.3 Belirsiz engelli rota planlama örneği 58
Şekil 3.4 Harita 1 belirsiz engelli rota planlama örneği 59
Şekil 3.5 Harita 2 belirsiz engelli rota planlama örneği 60
Şekil 3.6 Harita 3 belirsiz engelli rota planlama örneği 62
Şekil 3.7 Harita 4 belirsiz engelli rota planlama örneği 63

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 OYH harita 1 sonuç tablosu 30
Çizelge 3.2 OYH harita 2 sonuç tablosu 31
Çizelge 3.3 OYH harita 3 sonuç tablosu 32
Çizelge 3.4 OYH harita 4 sonuç tablosu 33
Çizelge 3.5 OYH harita 5 sonuç tablosu 34
Çizelge 3.6 HKRA harita 1 ve 2 sonuç tablosu 35
Çizelge 3.7 HKRA harita 3 sonuç tablosu 36
Çizelge 3.8 HKRA harita 4 sonuç tablosu 36
Çizelge 3.9 HKRA harita 5 sonuç tablosu 37
Çizelge 3.10 GA harita 1 ve 2 sonuç tablosu 38
Çizelge 3.11 GA harita 3 ve 4 sonuç tablosu 39
Çizelge 3.12 GA harita 5 sonuç tablosu 40
Çizelge 3.13 PSO harita 1 ve 2 sonuç tablosu 41
Çizelge 3.14 PSO harita 3 sonuç tablosu 41
Çizelge 3.15 PSO harita 4 sonuç tablosu 42
Çizelge 3.16 PSO harita 5 sonuç tablosu 43
Çizelge 3.17 DE harita 1 ve 2 sonuç tablosu 44
Çizelge 3.18 DE harita 3 sonuç tablosu 44
Çizelge 3.19 DE harita 4 sonuç tablosu 45
Çizelge 3.20 DE harita 5 sonuç tablosu 46
Çizelge 3.21 Sabit engelli rota planlama başarım oranları 46
Çizelge 3.22 Belirli hareketli böcek – tanjant harita 1 ve 2 sonuç tablosu 49
Çizelge 3.23 Belirli hareketli OYH harita 1 sonuç tablosu 49
Çizelge 3.24 Sabit engelli ve dinamik engelli OYH harita 1 kıyaslama tablosu 50
Çizelge 3.25 Belirli hareketli OYH harita 2 sonuç tablosu 51
Çizelge 3.26 Sabit engelli ve dinamik engelli OYH harita 2 kıyaslama tablosu 52
Çizelge 3.27 Belirli hareketli OYH harita 4 sonuç tablosu 52
Çizelge 3.28 Sabit engelli ve dinamik engelli OYH harita 4 kıyaslama tablosu 53
Çizelge 3.29 Belirli hareketli HKRA harita 1 sonuç tablosu 54
Çizelge 3.30 Sabit engelli ve dinamik engelli HKRA harita 1 kıyaslama tablosu ...55
Çizelge 3.31 Belirli hareketli HKRA harita 2 sonuç tablosu 55
Çizelge 3.32 Sabit engelli ve dinamik engelli HKRA harita 2 kıyaslama tablosu ...56
Çizelge 3.33 Belirli hareketli HKRA harita 4 sonuç tablosu 56
Çizelge 3.34 Sabit engelli ve dinamik engelli HKRA harita 4 kıyaslama tablosu ...57
Çizelge 3.35 Belirsiz ve sabit HKRA harita 1 sonuç tablosu 59
Çizelge 3.36 Sabit engelli ve belirsiz engelli HKRA harita 1 kıyaslama tablosu 60
Çizelge 3.37 Belirsiz sabit HKRA harita 2 sonuç tablosu 61
Çizelge 3.38 Sabit engelli ve belirsiz engelli HKRA harita 2 kıyaslama tablosu 61
Çizelge 3.39 Belirsiz sabit HKRA harita 3 sonuç tablosu 62
Çizelge 3.40 Sabit engelli ve belirsiz engelli HKRA harita 3 kıyaslama tablosu 63
Çizelge 3.41 Belirsiz sabit HKRA harita 4 sonuç tablosu 64
Çizelge 3.42 Sabit engelli ve belirsiz engelli HKRA harita 4 kıyaslama tablosu 64
Çizelge 3.43 Belirsiz sabit OYH harita 1 sonuç tablosu 65
Çizelge 3.44 Sabit engelli ve belirsiz engelli OYH harita 1 kıyaslama tablosu 66
Çizelge 3.45 Belirsiz sabit OYH harita 2 sonuç tablosu 67

Çizelge 3.46 Sabit engelli ve belirsiz engelli OYH harita 2 kıyaslama tablosu.....68
Çizelge 3.47 Belirsiz sabit OYH harita 3 sonuç tablosu 68
Çizelge 3.48 Sabit engelli ve belirsiz engelli OYH harita 3 kıyaslama tablosu.....69
Çizelge 3.49 Belirsiz sabit OYH harita 4 sonuç tablosu 70
Çizelge 3.50 Sabit engelli ve belirsiz engelli OYH harita 4 kıyaslama tablosu.....71

KISALTMALAR DİZİNİ

İHA	İnsansız Hava Aracı
OYH	Olasılıksal Yol Haritası (Probabilistic Roadmap)
HKRA	Hızlıca Keşfeden Rastgele Ağaçlar (Rapidly Exploring Random Trees)
GA	Genetik Algoritma (Genetic Algorithm)
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization)
DG	Diferansiyel Gelişim (Differential Evolution)
ARP	Araç Rotalama Problemi

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....i
ABSTRACT.....ii
TEŞEKKÜR.....iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....iv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....v
KISALTMALAR DİZİNİ.....vii
1. GİRİŞ.....1
1.1 Kaynak Özetleri.....5
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....10
2.1 Optimizasyon.....10
2.2 Genetik Algoritma.....11
2.3 Parçacık Sürü Optimizasyonu.....13
2.4 Diferansiyel Gelişim Algoritması.....16
2.5 Olasılıksal Yol Haritası Planlayıcı.....18
2.6 Hızlıca Keşfeden Rastgele Ağaçlar Algoritması.....20
2.7 Böcek Algoritması.....21
2.7.1 Doğrudan hedefe hareket modu.....24
2.7.2 Sınır takip modu.....25
3. ARAŞTIRMA BULGULARI.....27
3.1 Sabit Engelli Rota Planlaması.....28
3.1.1 Olasılıksal yol haritası planlama çalışması.....29
3.1.2 Hızlıca keşfeden rastgele ağaçlar çalışması.....35
3.1.3 Genetik algoritma çalışması.....38
3.1.4 Parçacık sürü optimizasyon çalışması.....40
3.1.5 Diferansiyel gelişim algoritması.....43
3.2 Dinamik Engelli Rota Planlaması.....47
3.2.1 Belirli dinamik engel rota planlama.....48
3.2.2 Belirsiz sabit engel rota planlama.....57
4. TARTIŞMA VE SONUÇ.....72
KAYNAKLAR.....76
EK1 MATLAB KULLANICI ARAYÜZ UYGULAMASI.....82
ÖZGEÇMİŞ.....83

1. GİRİŞ

Havacılıkta uçuş maliyetlerinin yüksek olması ve uçuşların hayati risk taşıması gibi sebepler havacılık teknolojisinde İHA'ların gelişimini zorunlu kılmıştır. Bu gelişim meteroloji uygulamalarında hava tahmini ve atmosfer verisi toplama yöntemleri olarak şekillenmiştir. Şehir planlama anlamında trafik durumu ve yangın kontrolü gibi uygulamalar İHA'ların gelişimine katkıda bulunmuştur. Savunma ve kontrol üzerine yapılan çalışmalar ise boru hatları ve enerji nakil hat kontrolü, istihbarat toplama ve hudut güvenliği gibi uygulamalar ile çeşitlilik kazanmıştır. (Chen, Wang ve Li 2009).

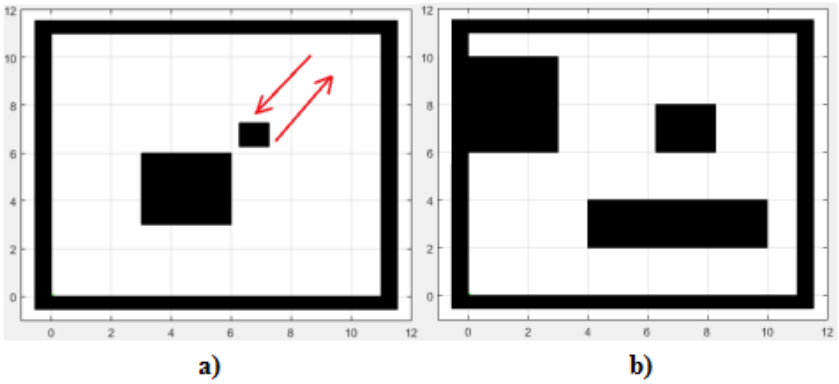
İHA'ların kullanımıyla birlikte görevlerde pilot ve uçaktan kaynaklanan hataların olmayışı, uçağın düşük radar izine sahip olması ve hareket kabiliyetinin yüksek olması gibi avantajlar İHA sistemlerinin tercih edilmesinde oldukça etkili olmuştur. Aynı zamanda hayati riski ortadan kaldırması da sağladığı önemli avantajlardan birisidir. Nükleer, biyolojik, kimyasal ve radyasyon tehlikesinin bulunduğu bölgelerde yapılacak tehlikeli görevler buna örnek olarak verilebilir. (Babel ve Luitpold 2013).

Sağladığı avantajların yanında bu görevlerin yerine getirilebilmesi için havada kalış süresinin ve faydalı yük kapasitesinin artması İHA kullanımının maliyetini doğrudan artırmıştır. Özellikle havada kalış süresinin artışı, kullanılan yakıtı da artıracağı için maliyeti doğrudan etkileyen bir faktördür. Dolayısı ile havada kalış süresinin azaltılması ile ilgili uygulamalar İHA uçuşlarını daha az maliyeli hale getirmektedir. Hava aracı havada kaldığı süre boyunca hedefe ulaşmak için belirli bir rotayı takip eder. Uçuş öncesinde planlanmış olan rotanın hedefe giden en kısa mesafe olması havada kalış süresinin azaltılmasını dolayısı ile uçuş maliyetinin de düşmesini sağlar.

Rota planlama, uçuşun başlangıç noktasından hedef noktasına ulaşana kadar çeşitli engeller varlığında üzerinden geçilecek noktaların belirlenmesi olarak tanımlanabilir (Can ve Çivicioğlu 2016). İki nokta arasında rota planlanırken amaç, belirli kısıtlar dahilinde aradaki mesafeyi minimuma indirmektir. Burada bahsedilen kısıt, bölgede uçuşu engelleyen faktörler anlamına gelir. Kısıtların davranışları farklılık gösterebilir. Bu

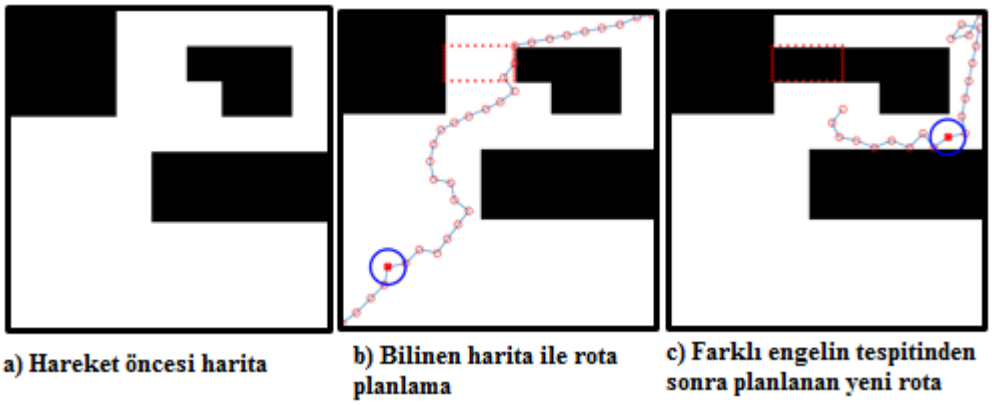
davranışlar, hareketli veya hareketsiz olmak ya da önceden bilinmeyip sonradan ortaya çıkmak şeklinde düşünülebilir.

Tez çalışması kapsamında bu engeller sabit engeller ve dinamik engeller olarak sınıflandırılacaktır. Gerçek hayat uygulamalarında engeller sabit olduğu kadar dinamik olarak da bulunabilir. Engeller rota planlamayı zorlaştıran etmenlerdir. Çünkü dinamik engelin konumu her değiştiğinde İHA'nın izlemesi gereken güzergahın yeniden hesaplanması gerekir.



Şekil 1.1 Uygulamadaki engel çeşitlerini gösteren harita örneği

Rota planlamada hareketli ve hareketsiz engel tanımları şöyle açıklanabilir; Sabit engel, haritadaki engellerin uçuş boyunca hareketsiz kalması anlamına gelir. Bu tipte engellerin bulunduğu rota planlama uygulamaları literatürde çevrimdışı rota planlama olarak adlandırılır (Yao vd. 2019). Şekil 1.1a sabit engele örnek olarak gösterilebilir. Dinamik engel, haritadaki engellerin uçuş sırasında konum ya da şekil değiştirmesi anlamına gelir. Engelin önceden bilinmeyip sonradan fark edilmesi de bir dinamik engel tanımıdır. Bu tipte engellerin bulunduğu rota planlama uygulamalarına literatürde çevrimiçi rota planlama denmektedir (Gao vd. 2016). Şekil 1.1b hareketli engele örnek olarak gösterilebilir.



Şekil 1.2 Önceden bilinmeyen engeli gösteren harita örneği

Engelin önceden bilinmeyip sonradan tespit edilmesi de dinamik engel davranışıdır. Şekil 1.2 bu türde olan engele örnek olarak verilmiştir. Şekilde kırmızı noktaların bulunduğu yer başlangıçta bilinmeyen engelin bulunduğu konumu ifade etmektedir. Şekil 1.2a rota planlama yapılmadan önce haritanın bilinen durumudur. Bu harita göz önünde bulundurularak çevrimdışı rota planlama yapıldıktan sonra çizilen rota Şekil 1.2b'de gösterilmiştir. Bilinmeyen engel, hareket esnasında tespit edildikten sonra yeniden rota planlama yapılır Şekil 1.2c.

Engellerin bulunduğu bir haritada başlangıç noktasından hedef noktasına ulaşan birden fazla uygun rota bulunabilir. Her rotanın beraberinde getirdiği avantaj ve dezavantajlar da vardır. Örneğin seçilen bir rota, hava şartları bakımından daha uygunken mesafe olarak diğer rotalara kıyasla daha uzun olabilir ya da daha kısa mesafeli bir rota, düşman birliklerinin bulunduğu bir bölgeden geçiyor olabilir. Rota seçiminde uygulamaya göre bir seçim kriteri belirlenmeli ve buna uygun şekilde optimum rota bulunmalıdır. Rota planlama yöntemlerinde ise optimum rotanın bulunması optimizasyon yöntemleri ile mümkün olabilir. Optimizasyon, bir fonksiyon çıktısını minimize ya da maksimize eden girdilerin elde edilmesi demektir. Optimizasyonda kullanılacak fonksiyon rota planlama kriterini ifade eden matematiksel tanımdır. Örneğin minimum mesafeye sahip rota planlaması yapılmak isteniyorsa optimizasyonda kullanılacak fonksiyon öklit mesafe fonksiyonu olacaktır.

Rota planlamada engel olarak tanımlanan bölgelerin optimizasyon yöntemlerinde matematiksel bir tanımı olmalıdır. Optimizasyon tanımında bahsedilen fonksiyon girdileri, rota planlama yapılacak olan bölgedeki her bir noktanın koordinatlarını ifade eder. Eğer İHA'nın engel bölgelerinden geçmesi istenmiyorsa bu bölgeleri ifade eden koordinatlar optimizasyon fonksiyonuna girdi olarak verilmemelidir. Engel bölgelerinin optimizasyon yöntemlerindeki matematiksel karşılığı bu şekilde ifade edilmektedir.

Rota planlama yapılacak tüm bölgeye optimizasyon yöntemlerinde arama uzayı adı verilir. Optimizasyon algoritmaları uygun girdi değerlerini ararken arama uzayından seçtiği rastgele noktaları amaç fonksiyonunda işleme sokar ve fonksiyonun çıktısını üretir. Bu işlem, her iterasyon için uygulanarak uygun rota bulununcaya kadar devam eder. Burada amaç fonksiyonu, minimum ya da maksimum değerinin bulunması istenen optimizasyon fonksiyonu anlamına gelir.

Yapılan çalışmada amaç, girilen başlangıç noktası ve hedef noktasını engel olarak tanımlanan bölgelerden geçmeyecek şekilde birbirine bağlayan minimum mesafedeki rotanın bulunmasıdır. Dolayısı ile bu problem için amaç fonksiyonu mesafe hesabını tanımlayan öklit mesafe fonksiyonudur. Rota planlama uygulaması 2 boyutlu uzayda yapılacağı için her koordinat noktasını ifade eden 2 bilinmeyen olacaktır. Planlanan rotanın N farklı noktadan geçmesi isteniyorsa problemde 2N adet bilinmeyen tanımlanmalıdır. Amaç fonksiyonu Denklem 1.1'de gösterilmiştir.

$$F(x) = \sum_{i=1}^{N-1} \sqrt[2]{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} \tag{1.1}$$

Burada $F(x)$ amaç fonksiyonunu temsil eder. $x_i, y_i, x_{i+1}, y_{i+1}$ ise rota üzerinde 2 koordinat noktasın *x* ve *y* eksenlerindeki üzerindeki yerlerini ifade eder. N, rota üzerinde kaç koordinat noktası bulunacağı bilgisini içerir. Minimum mesafe problemi için amaçlanan, arama uzayı üzerinde $F(x)$ amaç fonksiyonunun değerini minimum yapan koordinatların bulunmasıdır. Bu koordinat noktaları birleşerek hava aracının takip edeceği en kısa rotayı oluşturacaktır.

Rota planlama çalışmalarında kısıtlama parametreleri arttıkça problem çözümünün hesaplanması daha maliyetli ve zaman alıcı olabilmektedir. Bu çalışmada kısıt, fiziki engeller olacaktır. Bu koşullar doğrultusunda rota planlama, 6 farklı algoritma kullanılarak yapılmıştır. Bunlar genetik algoritma (GA), olasılıksal yol haritası (OYH) yöntemi, parçacık sürü optimizasyonu (PSO), hızlıca keşfeden rastgele ağaçlar (HKRA), diferansiyel gelişim (DG) ve böcek-tanjant algoritmasıdır.

1.1 Kaynak Özetleri

Araç rota planlama çalışmaları (ARP) ilk kez Dantzig ve Ramser (1959) tarafından literatüre kazandırılmıştır. Bu çalışmada gezgin satıcı problemi daha genelleştirilmiş ve araç rotalama problemi olarak ele alınmıştır. Çalışmada bir benzin deposundan hareket eden ve farklı yerlerde bulunan benzin istasyonlarına benzin dağıtan bir kamyonun rota planlaması yapılmıştır. Dantzig ve Ramser farklı durumları ele alıp incelemişlerdir. Tek teslimatta tüm istasyonların taleplerinin karşılanması, belirli bir yüzdeye kadar talebin karşılanmaması veya aynı istasyona tekrar uğranması durumlarında çalışma yapmışlardır. Eğer talep istasyonun tamamen doldurulması değilse birbirine yakın istasyon noktalarından bazılarına teslimat yapılmamasına izin verilmiştir. Çalışma rota mesafesini mutlak minimuma düşürmenin yanısıra hesaplama maliyetini de minimize etmiştir.

ARP çalışmalarına devam eden Laporte (1992) kesin ve keşifsel algoritmalar şeklinde 2 başlıkta inceleme yapmıştır. Rota planlama uzayına sınırları dahil ederek ARP problemlerine farklı bir bakış açısı getirmiştir. Aynı zamanda lineer programlama yöntemi ile algoritma programlama formülasyonlarını incelemiştir. Osman (1993) yakıt kapasite ve rota sınırlamalı ARP'ne hibrid bir yöntemle yaklaşmıştır. Osman çalışmasında tavlama ve tabu arama algoritmasını kullanmıştır. Bu çalışma sonucuna göre 17 adet test problemi kullanarak hesaplama süresinde %50'den fazla düşüş olduğu görülmüştür.

ARP'lerini İHA sistemleri için inceleyen Bortoff (2000) rota planlaması yapılacak bölgeye yasak bölge tanımını ekleyerek rota planlama çalışmalarına farklı bir açıda yaklaşmıştır. Bu yasak bölge düşman radar alanı olarak ele alınmıştır. Çalışmada 2

basamaklı rota planlama algoritması önerilmiştir. İlk adımda başlangıçta kabaca en uygun rota Voronoi poligon grafik arama yöntemiyle üretilir. 2. adımda ise ilk adımda üretilen grafiksel çözüm sonradan oluşturulan lineer olmayan basit diferansiyel denklemin başlangıç koşulu kabul edilir. Bu diferansiyel denklem konfigürasyon uzayındaki yasak ve serbest bölgeleri sanal kuvvet şeklinde tanımlamak için kullanılmıştır. Çalışmada eş zamanlı dinamik ortamda rota planlama için etkili bir metod sunulmuştur. Helgason(2001) çalışmasında rota planlama için geometrik konsept temeline kurulu sezgisel bir algoritma sunmuştur. Engel tanımlamayı engel bölgesinin etrafını üçgenler ile sınırlandırarak yapmıştır. Rota hesaplamasını da bu üçgenlerin dış kenarlarını takip eden dallar ve bağlantılar prosedürü ile yapmıştır. Çalışma motivasyonu askeri gemi füzeleri için rota planlama şeklinde tanımlanmıştır. Rathbun ve Capozzi (2002) çalışmalarını dinamik çevre uzayında yaparak rotalama çalışmalarını ileriye taşımışlardır. Çalışmada evrimsel algoritmaların engellerin bulunduğu ve dinamik olarak değişen çevrede başarılı şekilde rota planlama yapabildiklerini göstermişlerdir. Rota planlama öncesinde evrimsel algoritmaya sabit çevre koşullarında tek nokta için rota ürettirilmiş sonrasında da sabit durumun değişmesiyle evrimsel algoritmanın rota planlamada nasıl cevap ürettiği incelenmiştir. Bu çevre değişikliğini algoritmaya ekledikleri durum güncelleyici fonksiyon ile uygulamışlardır. Baker ve Ayechew (2003) evrimsel algoritmaları kullanarak ARP çalışmalarına devam etmişlerdir. Çalışmada Dantzig'in ele aldığı gibi Baker ve Ayechew de tek bir depodan diğer istasyonlara yakıt dağıtan tanker için rota planlama örneğini kullanmışlardır. Geleneksel GA kullanılarak yapılan ARP çalışmalarından farklı olarak GA'yı komşuluk arama algoritmasıyla birleştirerek daha iyi sonuç elde etmişlerdir. Doğan ise (2003) çalışmasında engel bölgelerini gauss olasılık yoğunluk dağılımına göre tanımlayarak literatüre diğer çalışmalardan farklı bir bakış açısı kazandırmıştır. Nikolas 2003'teki rota planlama çalışmalarını evrimsel algoritma tabanlı yaklaşım ile gerçekleştirmiştir. Çevrimiçi ve çevrimdışı rota planlama çalışmalarında genetik algoritmayı kullanarak İHA'ları için otonom navigasyon geliştirmiştir. Geliştirilen rota planlayıcı koordinat verilerini kullanarak B-Spline eğrileri uydurmuş ve kavisli rotalar hesaplamıştır. Bu çalışmayla iki probleme çözüm bulmuştur. İlki çevrimdışı rota planlayıcı kullanarak bilinen uzaydaki uygun rotayı hesaplamak, ikincisi ise çevrimiçi rota planlayıcı kullanarak tamamen bilinmeyen uzayda rota hesaplamaktır. Beard ve Maddula (2004) askeri görev uygulamalarını esas alarak İHA sürüleri için rota

planlama çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada da İHA'ların en az düzeyde efor sarfetmesi ve tehlikelerden kaçınması hedeflenmiştir. Problemi 4 aşamada incelemişlerdir. Birinci aşama konfigürasyon uzayındaki tehditler çokgenler ile temsil edilmiş ve haritada Voronoi mozaiği oluşturulmuştur. İkinci aşamada ise İHA'nın görev yolunun çizilen Voronoi diyagramları arasında çizilebilecek en kısa olanının bulunması olmuştur. Üçüncü aşamada başlangıç koşulları oluşturulmuş olan İHA'larının kendi aralarındaki görev dağılımları hüristik algoritma ile yapılmıştır. Dördüncü aşamada da tüm İHA'lara alt görev rotaları belirlenmiştir.

Krishna (2005), planlama yapılan haritanın kenarlarından birisine dik şekilde yerleştirilen İHA'ların birden çok hedef noktasına planlaması ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Pettersson ve Doherty (2006) otonom görev yapabilen İHA sistemi üzerinde çalışmalarda bulunmuşlardır. Hava aracının şehiriçi gibi engellerin sık ve yakın bulunduğu ortamlarda otonom şekilde engellere çarpmadan ortamdan veri toplayabilmesi üzerinde çalışmışlardır. Rota planlama uygulaması olarak platformda OYH ve HKRA yöntemlerini kullanmışlardır. Yakıt tasarrufu ve engel bölgesi şeklinde birden fazla kısıta sahip problem içeriği ile çalışan Foo (2006) parçacık sürü optimizasyonunu kullanarak rota planlama çalışması yapmıştır. Çalışmada düşman bölgelerinden kaçınarak riski minimuma indirmenin yanısıra yakıt tüketimini de azaltmayı başarmışlardır. Başlangıç durumunda düz çizgiler ile birleştirilerek oluşturulan rota sonrasında B-spline eğrileri ile yeniden oluşturulmuştur. Fukasawa (2006), araç rota planlama çalışmasının farklı bir türü olan kapasiteli araç rotalama problem çözümü hakkında çalışmalar yapmıştır. Bu çalışma iki yaklaşımı birleştiren bir algoritma önermiştir. İlki çokgenlerin kesişimi ile oluşturulan rota, diğeri ise sınır bölgeleri ve kapasite sınırıdır.

Carlyle (2007) karadan havaya savunma sistemlerinin bulunduğu ortamda rota planlama üzreinde çalışmıştır. Çalışmada sınırlandırılmış en kısa rota modelini kullanmış ve konfigürasyon uzayında muhtemel ara noktaları çizgilerle birleştirerek bir ızgara yapısı oluşturmuştur. Önerilen model insanlı ve insansız sistemler için kullanılabilir olduğu için esnek bir yapıdadır. Model yüksek irtifada F/A-18 saldırı uçağı için rotalamada ve orta irtifada İHA için rotalamada kullanılmıştır. Amaç fonksiyonu karadan havaya düşman sistemlerinden kaçınarak en az yakıt tüketimi olarak seçilmiştir. Qi (2010) 3 boyutlu

uzayda rota planlama problemini gelişmiş hüristik bir algoritmayla incelemiştir. İHA rotasını oluşturmak için A* algoritmasını kullanmıştır. Bu algoritma çeşitli arama adımları ve ağırlıklandırma faktörü içermektedir. Alınan sonuçlar kısıtların bulunduğu uzayda algoritmanın efektif şekilde çalıştığını göstermiştir. Kothari (2010) İHA'lar için HKRA yöntemini kullanarak rota planlama çalışmaları yapmıştır. Bu çalışmaya göre ortamda sabit ve birden ortaya çıkan engeller bulunmaktadır. İHA bu engellerle karşılaştığında tekrar rota planlama yaparak yeni rotayı takip etmektedir. Düşük maliyetli rota oluşturmak için uçuş gerçekleştiği sürece devam eden bir algoritma geliştirerek kalitenin artmasını sağlamışlarıdır.

De Filippis (2011) sivil havacılık için otopilot uygulamalarında rota planlama algoritma çalışması yapmıştır. Rota üretimi 4 yöntemin sırasıyla çalışmasıyla yapılmıştır. Bunlar geometrik ön tanımlı yörünge, manuel ara nokta tanımı, otomatik ara nokta dağıtımı ve kapsamlı A* tabanlı yaklaşımdır. Rota üretildikten sonraki aşamada rotayı yumuşatma aşaması bulunmaktadır. Bunun için de Dubin eğrileri kullanılmıştır. Zhang 2011 yılında kısmen bilinen düşman bölgesinde İHA için çevrimiçi rota planlama çalışması yapmıştır. Hesaplanan rotanın kesiksiz, düzgün bir uçuş yolu olması için B-Spline eğrisini algoritmaya dahil etmiştir. Yaptığı çalışmada geliştirilmiş DG algoritma performansını klasik DG, GA ve PSO ile kıyaslamıştır. Çalışma sonucunda alınan simülasyon sonuçlarına göre önerilen geliştirilmiş DG algoritması kıyaslanan yöntemlere göre daha uygun rota oluşturmuştur. Pehlivanoğlu (2012) sabit engellerin bulunduğu ortamda PSO yöntemini kullanarak İHA için rota planlama çalışmasında bulunmuştur. Makalede PSO algoritmasının çeşitlilik parametresi üzerinde durularak rota planlamaya etkisi araştırılmıştır. Ergezer ve Leblebicioğlu (2012) İHA için çevrimiçi ve çevrimdışı rota planlama problemini incelemişlerdir. Çalışmada tek İHA ile çevrimdışı rota planlama yaparak önce görev bölgelerinden maksimum bilginin toplanması hedeflenmiştir. Önerdikleri çevrim dışı algoritmada literatürden farklı olarak probleme özel 3 operatör tanımlamışlardır. Çalışmadaki diğer bir konu da birden fazla İHA için çevrimiçi rota planlamasıdır. Görev bölgelerinden toplanacak bilginin artırılması için rota planlamanın nasıl yapılacağı incelenmiştir. Roberge (2013) radar alanlarının bulunduğu bölgelerdeki rota planlama çalışmalarını genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonu

yöntemlerini kullanarak gerçekleştirmiştir. “tek program, çoklu veri” yöntemiyle hesaplama süresini düşürmeyi başarmışlardır.

Lin ve Zhang (2014) HKRA yönteminin verimsiz olduğunu düşünerek yeni bir öneride bulunmuştur. Dinamik adım mantığıyla çalışan yöntemi rota planlama uygulamaları üzerinde kullanmıştır. Rota oluşturulduktan sonra B-Spline eğri uydurma yöntemi ile rota planlama yapılmıştır. Lee ve Shim (2014) sabit kanatlı İHA’lar için HKRA ile rota planlama uygulaması üzerinde çalışmışlardır. Kullandıkları algoritma HKRA dallanmasını büyütmek için ön tanımlı hareket verilerini kullanmıştır. Yöntemin İHA’nın yasaklı bölgelerden kaçınmasını sağlayan düzgün ve dinamik değişimlere uygun olduğu sonucu elde edilmiştir. Duan, Li ve Shi (2015) İHA için sezgisel algoritmaları rota planlama araştırmalarına dahil ederek çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalarda farklı parametrelerin minimize edilmesi hedeflendiği için birden fazla amaç fonksiyonu kullanmışlardır. Bunlar tehlikeli bölge, irtifa ve mesafe gibi uçuş kritik parametreleri olmuştur.

Tez çalışmasında örneklemeye dayalı ve evrimsel algoritma tabanlı yöntemler kullanılarak İHA’ları için rota planlama çalışması yapılmıştır. Bu konuda önceden yapılan çalışmalar bulunmasına karşın farklı olarak bu çalışmada, çevrimiçi ve çevrimdışı rota planlama şeklinde iki farklı senaryoda ele alınmıştır. Çevrimiçi rota planlama iki alt çalışmaya ayrılıp hareketli ve görülebilir; hareketsiz ve sonradan görülür engel tanımlamalarıyla incelenmiştir. Algoritmalar 5 farklı harita üzerinde çalıştırılarak sonuçlar gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda her yöntemin minimum, maksimum ve ortalama mesafeleri hesaplanmıştır. Bunlarla birlikte mesafelerin standart sapması, ortanca ve yüzde başarısı incelenmiştir. Yöntemlerin birbirlerine göre kıyaslanabilmesi için ortalama mesafeler üzerinden yüzde fark karşılaştırmaları yapılmıştır. Yüzde fark karşılaştırması yöntemin hareketli engel için hareketsiz engele kıyasla ortalama mesafede ne kadar farkla yol katettiğini göstermektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Optimizasyon

Optimizasyon, bir problem için olası tüm çözümler arasından en uygun çözümü bulmak için kullanılan yöntemdir. Gerçek dünya problemlerinde çözümü kısıtlayan bir veya birden fazla parametre bulunur. Optimizasyonun amacı da bu kısıtlar altında mümkün olan en iyi çözümü bulmaktır. Optimizasyonun bir diğer tanımını da Kahaner (1989), bir fonksiyonun minimum ya da maksimum değerinin elde edilmesi olarak yapmıştır. Bu tanımda fonksiyon çözülmek istenen problemin matematiksel modelini ifade etmektedir. Herhangi bir problem matematiksel olarak modellendikten sonra o problem için optimizasyon yapılabilir. Problemin çözümünü etkileyen parametreler karar değişkeni olarak adlandırılır. Karar değişkenleri problemin matematiksel tanımını ifade eden fonksiyonun değişkenleridir. Problem fonksiyonun çıktısı da amaç değeri olarak adlandırılır. Amaç değerinin maksimum ya da minimum olmasını sağlayan karar değişkenlerinin bulunmasını optimizasyon yöntemleri sağlar. Optimizasyon yöntemleri farklı konulardan esinlenerek literatüre kazandırılmıştır. Örneğin genetik algoritma ve diferansiyel gelişim algoritması gibi yöntemler biyoloji tabanlı yöntemlerdir. Parçacık sürü optimizasyonu, ateşböceği algoritması gibi yöntemler de sürü tabanlı optimizasyon yöntemlerine örnek verilebilir.

$$\begin{aligned} &\min_{x} f(x) \\ &g_k(x) \leq 0, k = 1, .., m \\ &x^A \leq x \leq x^Ü \end{aligned} \tag{3.1}$$

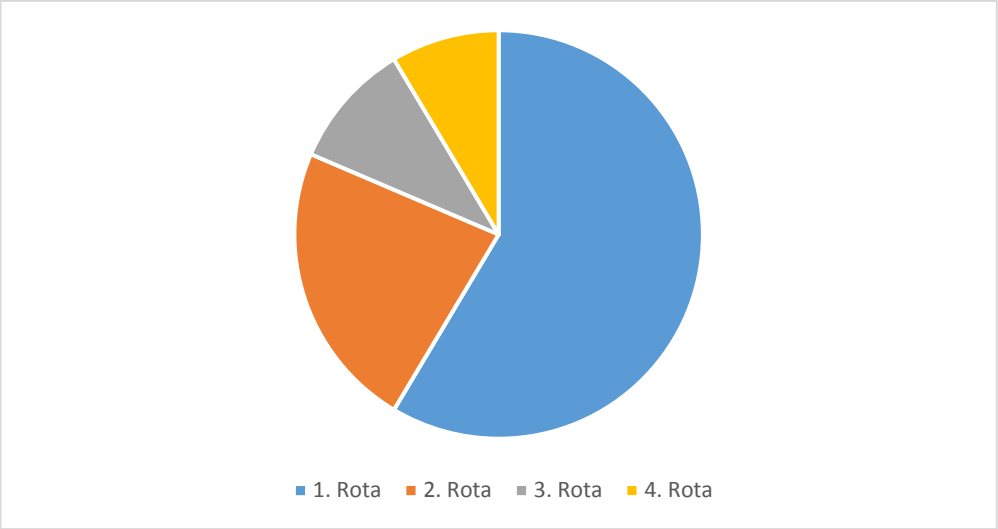
Denklem (3.1)'deki $f(x)$ ifadesi amaç fonksiyonunu ifade eder. $g(x)$ ise problem için kısıtlama fonksiyonudur. x^A ve $x^Ü$ karar değişkeninin arama uzayında alabileceği alt ve üst değerlerin sınırlarını gösterir.

Çalışmada tek amaçlı problem tipi için optimizasyon yapılacaktır. En kısa mesafenin bulunması hedeflendiği için minimum değer aranmaktadır. Çalışmadaki amaç fonksiyonu öklit uzaklığı fonksiyonudur. Karar değişkenleri ise harita üzerine rastgele atanan ve harita alanı ile kısıtlanan koordinat noktalarıdır.

2.2 Genetik Algoritma

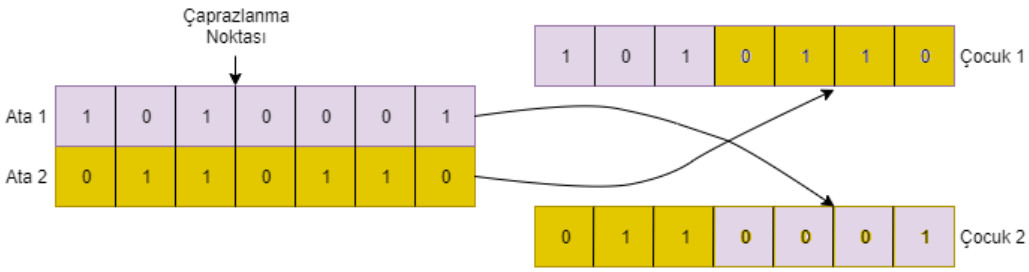
Genetik algoritma meta sezgisel metotlardan biridir ve en iyi olanın hayatta kalmasına dayanarak daha iyi çözümler bulmayı hedefler. Genetik algoritmalar genellikle rastgele popülasyon ile başlar. Amaç fonksiyonu kullanılarak bu popülasyonun amaç değeri hesaplanır. Sonrasında genetik algoritma işlemleri olan çaprazlama, mutasyon, elitizm ve seçme gibi yöntemlerin uygulanmasıyla popülasyondaki çeşitlilik artırılır. Genetik algoritmada amaç her zaman en iyi kromozomu elde etmektir. Çalışmada kromozom, rotayı oluşturan noktalar dizisi anlamına gelmektedir. Bu çalışma göz önünde bulundurulduğunda en iyi kromozom, en kısa rota anlamına gelir. Araç rotalama problemleri için genetik algoritmada gen ifadesinin karşılığı nokta, kromozom ifadesinin karşılığı rota, popülasyon ifadesinin karşılığı ise çözüm kümesidir.

Seçim : Genetik algoritmanın bir basamağı olan seçim, algoritma sonucunda yeni bireylerin üretilmesini sağlayacak olan ebeveyn bireylerin popülasyon içerisinden seçilmesi aşamasıdır. Önce popülasyondaki tüm bireylerin verileri problemin amaç fonksiyonunda yerine koyularak amaç değerleri hesaplanır. Sonra bu amaç değerleri göz önünde bulundurularak her bir bireyin seçilme olasılık oranı belirlenir. Örnek olarak verilen Şekil 2.1'te 1. rota daha başarılı sonuç verdiği için seçilme olasılığı daha yüksek verilmiştir. Aynı şekilde 4. rotanın da başarısı düşük olduğu için seçilme oranı da düşük olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.1 Genetik algoritma örnek seçim diyagramı

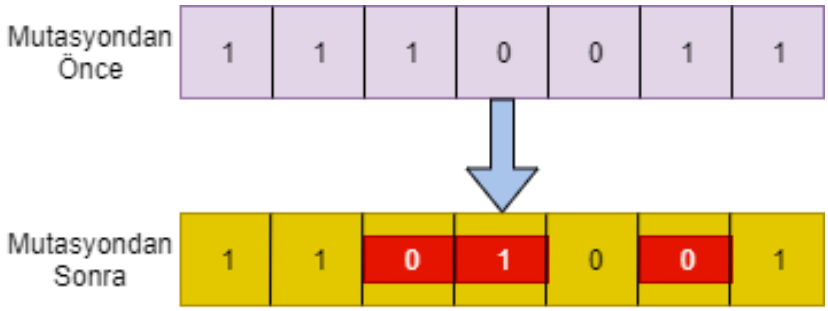
Çaprazlama: Biyolojideki işlevi ile aynı fonksiyonu gerçekleştiren çaprazlama işlemi popülasyondaki bireyler arasındaki gen geçişlerini sağlar. Çaprazlama işlemi de olasılığa bağlı olarak gerçekleşir. Şekil 2.2'de örnek olarak verilmiş bir çaprazlama işlemi bulunmaktadır.



Şekil 2.2 Genetik algoritma örnek çaprazlama diyagramı

Mutasyon: Popülasyondaki bir kromozomun gen özelliklerinin değişmesiyle gerçekleşir. Örneğin Şekil 2.3'te bir kromozomun mutasyona uğramadan önceki hali (üstte) ve mutasyona uğradıktan sonraki hali (altta) verilmiştir. Genetik algoritma için mutasyon, kromozomu oluşturan genlerin özelliklerinin değişmesi anlamına gelir. Bu değşim farklı şekillerde meydana gelebilir. Tersleme, kromozomun herhangi bir geninin tersine çevrilmesidir. Yerleştirme, kromozomun gen haritasına yeni bir genin eklenmesidir.

Çıkarma, yerleştirmenin aksine kromozomdan bir genin çıkarılması ve son olarak yer değiştirme ise kromozomdaki iki genin birbirleri ile yer değiştirmesi olarak tanımlanır. Şekil 2.3'te kırmızı ile gösterilen genlerin mutasyona uğradıkları görülmektedir.



Şekil 2.3 Genetik algoritma mutasyon örneği

Genetik algoritma, rota planlama uygulamalarında oldukça tercih edilen bir çözüm, arama yöntemidir (Buran 2019). En iyi çözümü arayan algoritma, rota planlama uygulamalarında birden çok kısıt altında en optimal çözümü bulmak için kullanılır. Yapılan bu tez çalışmasında genetik algoritma, seçilebilecek farklı rotalar arasından en uygununun seçilmesi esasına dayalı olarak çalışacaktır.

2.3 Parçacık Sürü Optimizasyonu

Populasyon temelli sezgisel optimizasyon tekniği olan bu yöntem sürü davranışı üzerine kurgulanarak oluşturulmuş bir yöntemdir. Sürü halinde yaşayan canlıların bilgiyi paylaşma, ortak bilgi üretme yaklaşımından esinlenilerek yapılan bu algoritma, sürülerin yiyecek bulabilme, tehlikeden kaçabilme yeteneklerini ortaya koymuştur. Arama algoritmalarında amaçlanan "arama uzayı" içinde aranan bilgiyi bulma amacını ise doğrudan karşılayabilen bu yöntem Eberhart ve Kennedy (1995) tarafından optimizasyon modeli olarak literatüre aktarılmıştır.

Parçacık sürü optimizasyonunun akış basamakları aşağıdaki gibidir.

1) Arama uzayında her biri aday çözüm olarak nitelendirilen *"parçacıklar"* oluşturulur. Bireyler arama uzayı sınırları göz önünde bulundurularak yapılır. Bu

çalışmada arama uzayı sınırları, rota planlama yapılacak olan haritanın sınırları olacaktır.

2) Her seferde oluşturulan bu bireyler bir sürüyü oluşturur.

3) Her bir birey kendi pozisyonu için amaç fonksiyonunun değerine bakar. Tüm sürüde sürünün en iyi değeri belirlenir.

4) Diğer tüm bireyler kendi pozisyonlarını sürüdeki en iyi pozisyona doğru ayarlar. Bu algoritmada s sürünün boyutu, i her parçacığın gösterim indisidir. Parçacık sürü optimizasyon parametreleri olan x_i: i indisli parçacığın pozisyonu, v_i: i indisli parçacığın vektörel hızı, y_i: i indisli parçacığın bireysel olarak en iyi pozisyonu, y_i, i parçacığının daha önceki x_i pozisyonlarındaki bireysel olarak gördüğü en yüksek uygunluk değerini ifade eder. En yüksek uygunluk değeri, bu çalışma bir minimizasyon problemi olduğu için en kısa mesafedeki rota en yüksek uygunluk değerini ifade edecektir.

$$y_{b_i}(t+1) = \begin{cases} y_{b_i}(t)\,, f(x_i(t+1)\,) \geq f(y_{b_i}(t)) \\ x_i(t+1), f\big(x_i(t+1)\big) < f(y_{b_i}(t)) \end{cases} \tag{3.3}$$

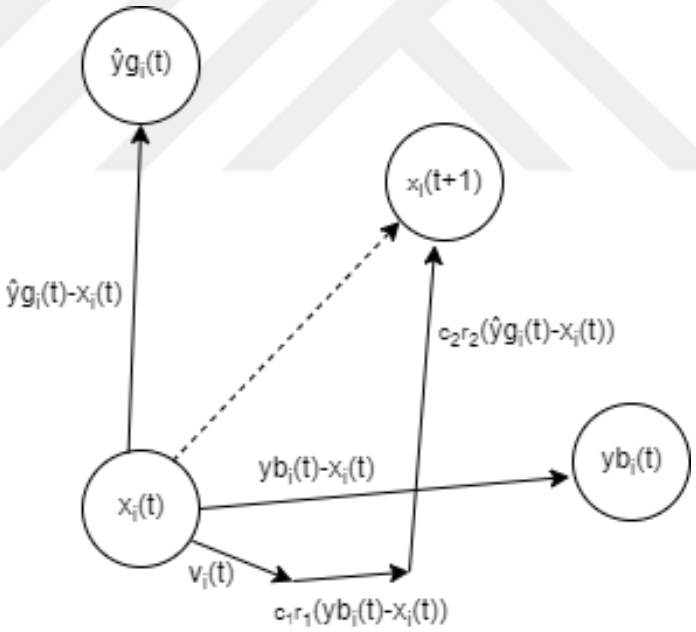
f, minimize edilmek istenilen amaç fonksiyonunu göstermek üzere $y_{b_i}(t+1)$ kişisel en iyi pozisyon için güncelleme fonksiyonu t zaman aralığı için Denklem 3.3 ile gösterilebilir. Kişisel en iyi pozisyon, ilgili parçacığın t anına kadar ziyaret ettiği tüm noktalar arasından en yüksek (ya da en düşük) uygunluk değerini veren pozisyon anlamına gelmektedir. y_g global en iyi değeri ifade etmek üzere tanımı Denklem 3.4'deki gibi olacaktır.

$$\begin{aligned} y_g(t) &= \{y_{b_0}(t), y_{b_1}(t), .., y_{b_s}(t)\} \\ f\left(y_g(t)\right) &= \min\{f(y_{b_0}(t)), f(y_{b_1}(t)), \dots f(y_{b_s}(t))\} \end{aligned} \tag{3.4}$$

$$v_{i,j}(t+1) = v_{i,j}(t) + c_1 r_{1,j}(t) * [yb_i(t) - x_{i,j}(t)] + c_2 r_{2,j}(t) * [yg_j(t) - x_{i,j}(t)] \tag{3.5}$$

Algoritmada $v_i(t)$, i indisli parçacığın t anındaki hızını ifade eden parametre olarak belirtilir. Bu parametre, parçacığın kendi konumundan global en iyi konuma gitme hızının stokastik olarak ifadesidir. v_i denkleminde c_1 , c_2 hızlanma katsayılarını ifade eder. Denklemin stokastikliğini sağlamak için uniform dağılıma sahip rastgele üretilmiş r_1 , $r_2 \sim U(0,1)$ sayıları da c_1 , c_2 değişkenlerinin katsayısı olarak yazılır. v_i denklemi Denklem (3.5)'deki gibi ifade edilir.

Denklem (3.5)'deki c_1 , c_2 katsayıları parçacığın pozitif ivme sabitleridir. Sırasıyla c_1 bireysel öğrenme hızı, c_2 sürü etkisi olarak kullanılır (Rini vd. 2011). Düşük değerlerde parçacıkların hedefe daha yavaş ulaşmasına sebep olur ancak hedef etrafındaki olası diğer bölgeleri de taramasına imkan verir. Tersi şekilde de bu katsayıların yüksek seçilmesi, hedefe hızlı ulaşmayı sağlar fakat global hedefe ulaşılamamasına de sebep olabilir. Şekil 2.4 örnek parçacık hareketini göstermektedir.



Şekil 2.4 Pso parçacık hareket adımı

2.4 Diferansiyel Gelişim Algoritması

Diferansiyel gelişim algoritması genetik algoritma temel alınarak geliştirilmiş sezgisel bir algoritmadır. Tıpkı genetik algoritma gibi bu yöntemde de genetik yapı ve genetik operatörler olan çaprazlama, seçim ve mutasyon işlemleri yapılır. Kromozomlar birer birer, populasyondan rastgele seçilen diğer kromozomlarla işleme sokulur. İşlem sonrası mevcut kromozom ile yeni birey uygunluk değeri ile karşılaştırılır. Daha uygun bir kromozom elde edilmiş ise bu kromozom yeni populasyon nesline aktarılır.

Algoritmaya ait parametler; NP: populasyon boyutu ($NP \geq 4$ olmalı), D: değişken miktarı (gen adedi), CR: çaprazlanma oranı ($0 < CR \leq 1$), G: jenerasyon, F: ölçek faktör değişkeni, $x_{j,i,G}$: G jenerasyonu için, i sayılı kromozomun, j parametresi, $n_{j,i,G+1}$: çaprazlama ve mutasyon işlemleri görmüş ara kromozom, $u_{j,i,G+1}$: $x_{j,i,G+1}$ den sonraki jenerasyona aktarılacak kromozom, r_1, r_2, r_3: rastgele seçilen kromozomlar, $x_j^{(l)}$, $x_j^{(u)}$: değişkenlerin arama uzayındaki alt ve üst sınır değerleridir

GA'da olduğu gibi DG'de de minimize edilmesi amaçlanan bir amaç fonksiyonu $f(X)$ bulunur. Her iterasyonda amaç fonksiyonu kullanılarak uygunluk değeri hesaplanır. Hesaplama sonucunda bulunan uygunluk değeri bir önceki hesaplama ya da program durdurma koşulu ile kontrol edilerek işleme devam edilir.

Problemin türüne göre belirlenen değişken sayısı her kromozomun gen sayısını da belirler. Başlangıçta NP adet D boyutlu kromozomlardan meydana gelen başlangıç populasyonu (P_0) aşağıdaki gibi (Denklem 3.6) üretilir (Price ve Storn 1997).

$$x_{j,i,G=0} = x_j^{(l)} + rand_j[0,1].(x_j^{(u)} - x_j^{(l)}) \tag{3.6}$$

Diferansiyel gelişim metodunda iterasyon adımları şöyledir,

1) Mutasyon işlemine alınacak kromozom dışında populasyon içerisinden rastgele üç farklı kromozom seçilir,

2) Seçilen kromozomlardan iki tanesinin farkı F parametresi ile çarpılır. Bu işlem sonrasında oluşan kromozom ağırlıklandırılmış fark kromozomu olarak adlandırılır,

3) Sonrasında ağırlıklandırılmış fark kromozomu seçilen üçüncü kromozom ile toplanır. Elde edilen kromozom çaprazlamada kullanılacak kromozomdur ($n_{j,i,G+1}$).

Mutasyon operatörünün matematiksel ifadesi (Denklem 3.7) aşağıdaki şekilde yazılabilir.

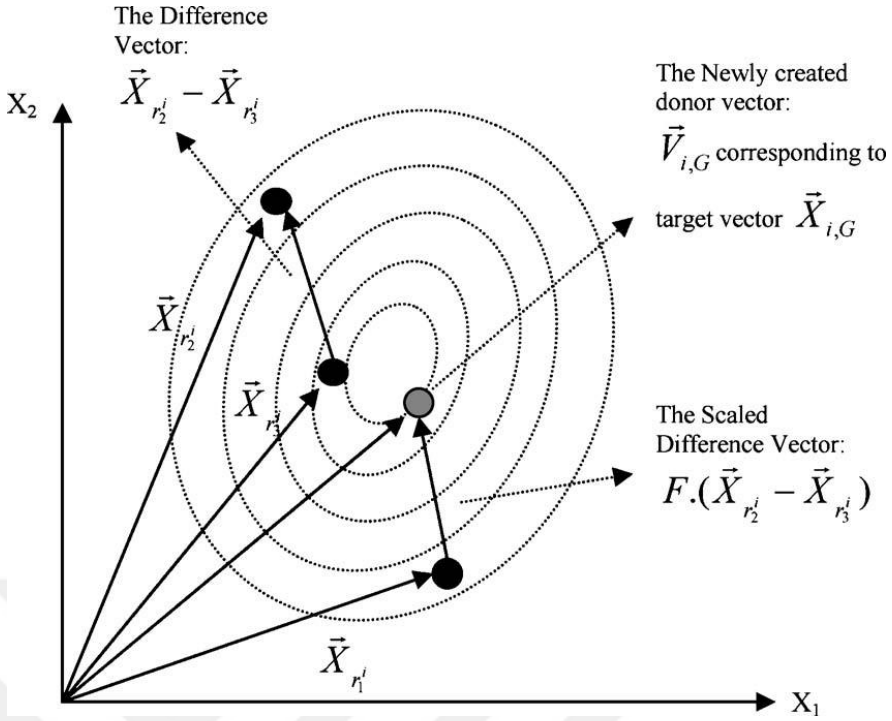
$$n_{j,i,G+1} = x_{j,r_3,G} + F.(x_{j,r_1,G} - x_{j,r_2,G}) \tag{3.7}$$

Mutasyon sonrasında elde edilen ağırlıklandırılmış fark kromozomu ve $x_{i,G}$ kromozomu yardımı ile yeni deneme kromozomu $u_{i,G+1}$ oluşturulur. Bu deneme kromozomundaki her bir gen CR olasılığında ağırlıklandırılmış fark kromozomundan, $1 - CR$ olasılığında da deneme kromozomunun kendi genlerinden seçilir. Bu parametrenin amacı girilen oranda genlerin alınacağı kromozomun yönlendirilmesidir. Bu operatörün matematiksel ifadesi (Denklem 3.8) aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\forall_j \leq \mathrm{D} : x_{j,u,G+1} = \begin{cases} x_{j,n,G+1}, & rand[0,1] \leq RC \vee j = j_{rand} \\ x_{j,i,G}, & diğer \end{cases} \tag{3.8}$$

Bu operatörün görevi tıpkı genetik algoritmada olduğu gibi mevcut jenerasyon ile yeni üretilen kromozomlar arasında seçim yapılarak yeni jenerasyonun belirlenmesidir. Seçim işlemi kromozomların uygunluk değeri baz alınarak yapılır. Seçim işleminin denklemi (Denklem 3.9) aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\forall_i \leq \mathrm{NP} : x_{i,G+1} = \begin{cases} x_{u,G+1}, & f(x_{u,G+1}) \leq f(x_{i,G}) \\ x_{i,G}, & Diğer \end{cases} \tag{3.9}$$



Şekil 2.5 İki boyutta DG gösterim şeması (Das ve Suganthan 2011)

Şekil 2.5 DG algoritmasının başlangıçta olası bir iterasyondaki uygulamasını göstermektedir. $\overrightarrow{x_{r_2^i}}$ ve $\overrightarrow{x_{r_3^i}}$ farkları alınacak rastgele seçilen ilk 2 vektördür. $\overrightarrow{x_{r_1^i}}$ çaprazlama yapılacak olan ve rastgele seçilen ilk vektördür. F ağırlık vektörünü ifade eder. $\overrightarrow{V_{i,G}}$ iterasyon sonucunda oluşan yeni vektörü ifade eder.

2.5 Olasılıksal Yol Haritası Planlayıcı

Kavraki olasılıksal yol haritası yöntemini 1996 yılında literatüre kazandırmıştır. Olasılıksal yol haritası planlayıcı, başlangıç ve bitiş noktaları arasında engellerden kaçınarak rota planlaması yapan bir planlama tekniğidir. Yöntem temel olarak 2 aşamadan oluşur : yapım ve sorgu aşaması.

Yapım aşaması :

1) Bu aşamada konfigürasyon uzayına rastgele noktalar atanır,
2) Atanan noktaların haritada serbest bölgede olup olmadığı kontrol edilir,

3) Noktalar arasında maksimum bağlantı mesafesi parametresi göz önünde bulundurularak bağlantı hatları kurulur,

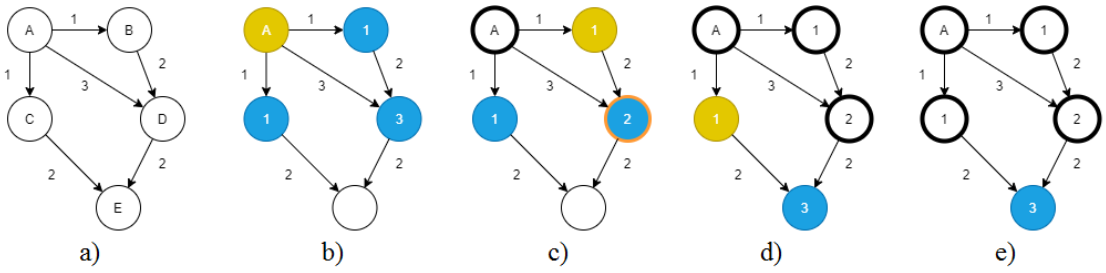
Sorgu aşaması :

Bu aşamada, tüm bağlantı hatları arasından Dijkstra'nın en kısa yol algoritması kullanılarak oluşturulabilecek en kısa rota bulunur.

başlangıç ve bitiş noktaları arasına atanan noktaların birbirlerine göre mesafeleri ölçülür. Örnek bir uygulama aşağıdaki şekilde gösterilir.

Dijkstra algoritmasında düğümler arasındaki mesafeler ikili şekilde Öklid mesafe fonksiyonu (Denklem 3.10) ile hesaplanır. Bu denklemde araç A noktasında (Şekil 3.7) bulunurken konfigürasyon uzayındaki konumu $J_i(A), i = 1, \ldots\ldots, q+1$ ile gösterilmektedir. $D(A,B)$ ise $A\ ve\ B$ noktaları arasındaki mesafeyi ifade etmektedir. Denklemde bulunan $\| J_i(A) - J_i(B) \|$ ifadesi de $J_i(A)$ ile $J_i(B)$ arasındaki Öklid mesafesini tanımlamaktadır. q ise konfigürasyon uzayına atanan toplam nokta sayısıdır (Kavraki vd. 1996).

$$(A,B) \in C\ x\ C\ \rightarrow D(A,B) = \sum_{i=1}^{q+1} \| J_i(A) - J_i(B) \|_2 \qquad (3.10)$$



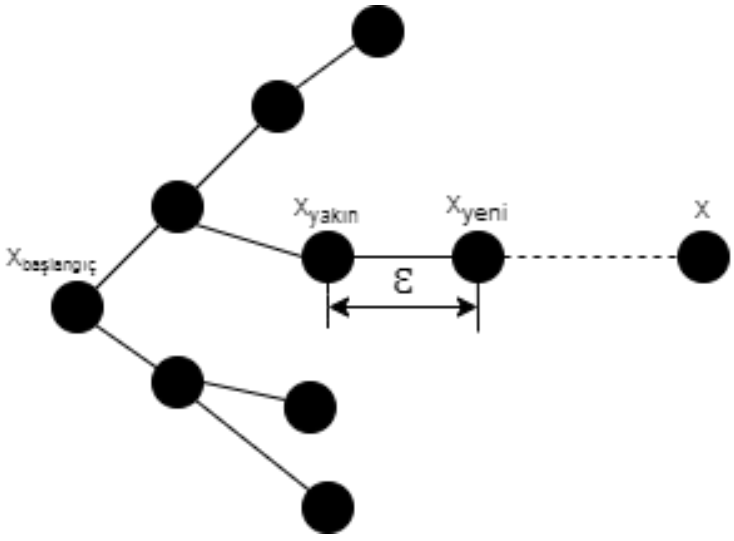
Şekil 2.6 Dijkstra örnek uygulama basamakları

Şekil 2.6 Dijkstra uygulamasının bir örneğini göstermektedir. Bu örneğe göre başlangıç noktası A olarak kabul edilir (Şekil 2.6a). A noktasının kendisine komşu olan diğer noktalara (B, C ve D noktaları) uzaklıkları belirlenir (Şekil 2.6b). Daha sonra A noktasına

komşu olan noktalar sırayla ele alınır ve bu noktaların da kendi komşularına olan uzaklıkları ölçülür (Şekil 2.6c ve Şekil 2.6d). Bu aşamada eğer bir noktaya farklı bir yoldan, daha kısa mesafede ulaşılabiliyorsa bu noktaya erişim mesafesi daha kısa olan mesafe ile güncellenir (Şekil 2.6c). Tüm noktalar için mesafeler hesaplandıktan sonra hedef noktasına ulaşılabilecek en kısa mesafe belirlenir. Bu, başlangıç noktasıyla bitiş noktasını birbirine bağlayan en kısa yoldur (Şekil 2.6e).

2.6 Hızlıca Keşfeden Rastgele Ağaçlar Algoritması

Hızlıca Keşfeden Rastgele Ağaçlar (HKRA) algoritması, örneklemeye dayalı rota planlama yöntemlerinden birisidir. Yönteme göre rota planlama, X konfigürasyon uzayı içerisinde $X_{başlangıç}$ başlangıç noktasından X_{hedef} hedef noktasına kesintisiz bir rotanın hesaplanması olarak tanımlanır (LaValle Kuffner 2006). Hesaplanan her bir rotaya konfigürasyon adı verilir ve bu rotaların hiçbirinin konfigürasyon uzayında bulunan engeller ile çakışmaması beklenir. Bunun testi çakışma algılama algoritmasıyla yapılır. Daha hassas testler için konfigürasyon uzayında bulunan yasak bölgelere yakınlığı hesaplayan mesafe hesaplama algoritması kullanılır. Rota planlama probleminde yönteme dair terminolojide X konfigürasyon (durum) uzayını, $X_{başlangıç}$ başlangıç noktasını, X_{hedef} hedef noktasını ve $X_{serbest}$ serbest uzayı ifade eder.



Şekil 2.7 HKRA genişletme işlemi

HKRA algoritmasının temel amacı uzayda keşif "ağacını", örnekleme noktaları alarak keşfedilmemiş bölgelere çekmektir. Bu işlem HKRA algoritmasının genişletme fonksiyonu yardımıyla yapılır.Şekil 2.7'de gösterilen bu fonksiyon şöyle çalışır :

1) Konfigürasyon uzayındaki örnek X noktasına en yakın noktayı, $X_{yakın}$ seçer
2) $X_{yakın}$ noktasından X noktasına doğru yönelim yapılır
3) $X_{yakın}$ noktasından Ɛ uzunluğu kadar yol uzatılır ve yeni bir nokta atanır, X_{yeni}

Bu işlem adımları konfigürasyon uzayında $X_{başlangıç}$ başlangıç noktasından X_{hedef} hedef noktasına ulaşıncaya kadar devam eder. Rota oluşturulduktan sonra yöntemin maliyet hesabı Denklem 3.11'de gösterildiği şekilde hesaplanacaktır. Bu denklemde L maliyeti ifade etmektedir (LaValle ve Kuffner 2000).

$$L = \int_0^T l\big(x(t), u(t)\big)dt + \ l_t(x(T)) \tag{3.11}$$

$u : [0, t_f] \rightarrow R^n$ olmak üzere kontrol fonksiyonunu temsil eder. Buradan sistem denklemi $\dot{x} = f\big(x(t), u(t)\big)$ şeklinde ifade edilir. Denklem 3.11'de $l\big(x(t), u(t)\big)$ anlık maliyeti temsil etmektedir (Lavalle 2000). x' bir sonraki hareket noktasını göstermek üzere, x noktasından x' noktasına giden minimum yolun maliyeti, $p^*(x, x')$ Denklem 3.12'deki gibi ifade edilir (LaValle ve Kuffner 2000).

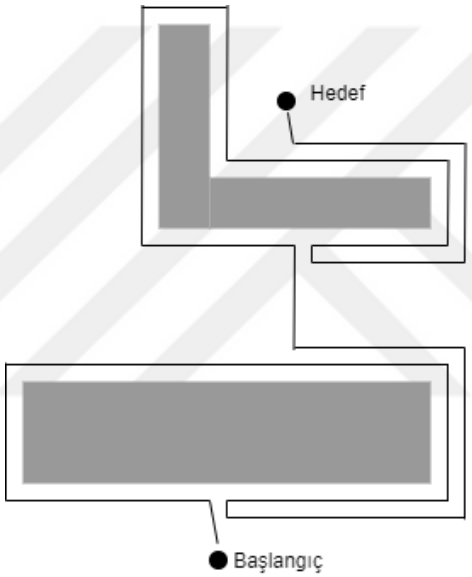
$$p^*(x, x') = \min_{u(t)} \{\int_0^T l\big(x(t), u(t)\big)dt + \ l_t(x(T))\} \tag{3.12}$$

2.7 Böcek Algoritması

Böcek algoritmalar böceklerin dokunma sensörlerini kullanarak hareket etme yeteneklerinden esinlenilerek geliştirilmiş algoritmalardır. Temelde böceğin iki davranışı

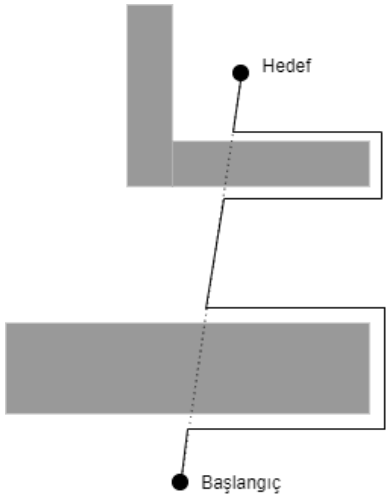
vardır: duvarı takip etmek ya da doğrudan hedefe hareket etmek. Davranışını seçerken sahip olduğu 2 bilgiyi kullanır. Bunlar yerel çevre farkındalığı (engeller) ve hedef konumudur (Lumelsky ve Stepanov 1987).

Böcek 1 ve böcek 2 algoritmaları dokunma sensörleri kullanarak engellerin yerlerini tespit ederken böcek tanjant algoritması mesafe sensörü yardımıyla engel tespiti yapar. Böcek 1 algoritması çalışırken engel ile karşılaştığında engelin etrafını tamamen dolaşır ve bu esnada sürekli hedefe olan mesafe bilgisini kaydeder. Engel etrafında tur attıktan sonra da engelin çevresinde hedefe en yakın olduğu noktaya giderek hareketine devam eder (Şekil 3.8).



Şekil 2.8 Bug 1 algoritması örnek hareketi

Böcek 2 algoritması çalışırken m-hattı bilgisine ihtiyaç duyar. M-hattı başlangıç noktası ile hedef noktası arasında oluşturulmuş hayali bir çizgidir. Böcek hareket ederken engel ile karşılaştığında engelin duvarını takip ederek çevresini dolaşmaya başlar. Bu durum, böcek tekrar m-hattıyla kesişinceye kadar devam eder. Böcek tekrar m-hattına denk geldiğinde doğrudan hedefe hareket etmeye devam eder (Şekil 3.9).



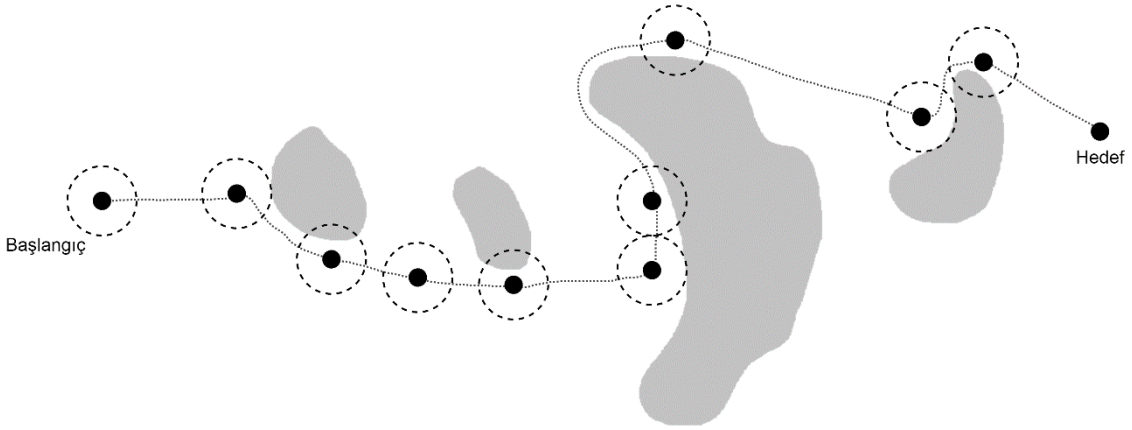
Şekil 2.9 Bug 2 algoritması örnek hareketi

Böcek tanjant algoritması böcek 1 ve böcek 2 algoritmalarından farklı olarak dokunma sensörü değil radar sensörü kullanır. Bu sensörün araçtan (böcekten) etrafa yayılan ışınlar şeklinde olduğu düşünülebilir (Şekil 3.10). Engellere çarpan ışınlar ile araç arasındaki mesafe Denklem 3.14 ile ifade edilir.

$$\rho_R(x,\Theta) = \begin{cases} \rho_R(x,\Theta), & eğer\ \rho(x,\Theta) < R \\ \infty, & diğer\ durumlar \end{cases} \tag{3.14}$$

$\rho_R(x,\Theta)$ engele çarpan en yakın ışın parçasının araca olan uzaklığını ifade etmektedir. x aracın bulunduğu noktayı, Θ ise araç radarının taradığı açıyı temsil eder. Denklemden görüldüğü üzere sensörün sınırlandırılmış menzili, "R" vardır. Eğer herhangi bir engele çarpan ışın yoksa bu değer sonsuz olarak döner. Radar sensörü denklem 3.14'te olduğu gibi tanımlandığı durumda eğer engeller araçtan uzak mesafedeyse ilerleyen ışınlar arasındaki mesafe artacaktır. Bu da veri kaybına yol açacak ve uzaktaki engellerin tespit edilmesini zorlaştıracaktır. Bu durumda en yakın engele olan mesafe denklem 3.15'deki gibi modellenir. Denklemde x aracın pozisyonunu, W_{O_i} aracın bulunduğu konfigürasyon uzayındaki engelleri, θ açısı aracın x pozisyonundayken taradığı radar açılarını, d o anki pozisyondan hedef noktasına olan mesafeyi ifade etmektedir.

$$\rho_R(x,\Theta) = \min_{\lambda\in[0,\infty]} d(x, x+\lambda[\cos\theta, \sin\theta]^T), x+\lambda[\cos\theta, \sin\theta]^T \in \cup_i W_{O_i} \tag{3.15}$$



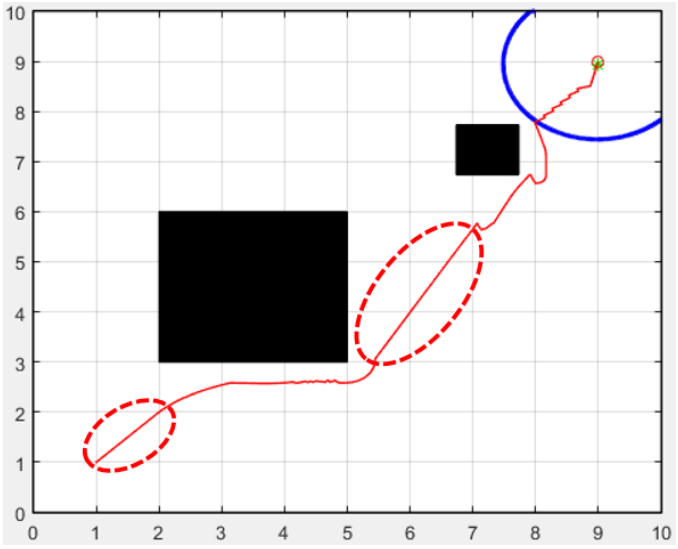
Şekil 2.10 Bug tanjant algoritması örnek hareketi

Böcek tanjant algoritması iki farklı modda çalışır. İlk mod doğrudan hedefe hareket edilen moddur. Bu moda sensörlerden engel algılanmadığı durumda girilir. Engel algılanıncaya kadar hedefe doğru hareket edilir. İkinci mod ise engelin tespit edildiği ve engelden ayrılma noktasına gelinene kadar engel sınırının takip edildiği moddur.

2.7.1 Doğrudan hedefe hareket modu

Bu hareket modunda İHA, o anki konumu ile hedef noktası arasında çizilmiş hayali bir çizgi, "m-hattı", doğrultusunda ilerler. Algoritmanın bu moda girmesi iki farklı koşuldan birinin sağlaması durumunda gerçekleşir.

Birinci koşul, İHA'nın hedef noktasına hareketi esnasında sensör menzili ile hedef arasında engel olmamasıdır. Şekil 3.11'de kırmızı kesikli çizgilerle gösterilen yerlerde algoritmanın doğrudan hedefe hareket moduna girdiği görülür. Bu bölgelerde İHA ile hedef noktası arasında engel bulunmamaktadır.



Şekil 2.11 Hedefe hareket moduna örnek gösterim

İkinci koşul, araç bir engelle karşı karşıya geldiği durumda gerçekleşir. Araç engel ile karşılaştığı durumda mesafe fonksiyonu ile mesafe bilgisi üretilir. Taradığı radar alanında engelin birden çok noktası yer alıyorsa, engel kenarı gibi, bu durumda araç hangi yönde hareket edeceğine, n engel ile ilk karşılaşılan nokta olmak üzere, aşağıdaki denkleme (Denklem 3.16) göre karar verir :

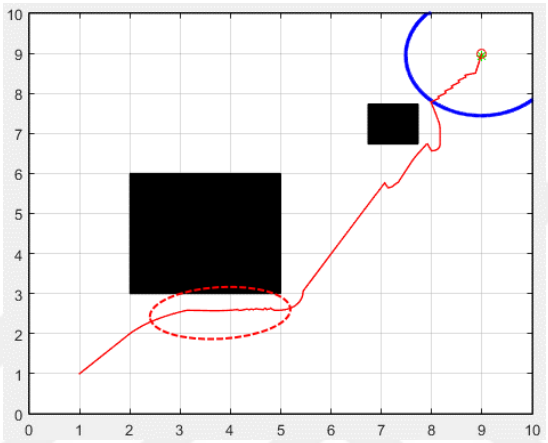
$$d(x, x_{hedef}) = d(x, n) + d(n, x_{hedef}) \tag{3.16}$$

2.7.2 Sınır takip modu

Araç engelle karşılaştıktan sonra hedefe hareket modundan çıkar. Denklem 3.17'ye göre hareket yönüne karar verir ve sezgisel yön değeri düşmeye devam ettiği süre boyunca hareketine devam eder. Bu düşüş bir noktada durup tekrar artmaya başladığında bu noktanın lokal minimum noktası olduğu ve sınır takip modu aktif edilir. Bu modda araç engelin sınırlarını takip ederek lokal minimumda takılı kalmaktan kurtulur. Şekil 3.12'de algoritmanın sınır takip moduna girdiği bölge kesikli kırmızı çizgiler ile gösterilmiştir.

$$Çalışma\ modu = \begin{cases} Hedefe\ hareket\ modu, & d_{ulaşılan} < d_{takip\ edilen} \\ çözüm\ yok, & diğer \end{cases} \quad (3.17)$$

$d_{ulaşılan}$ aracın engel sınırını takip ederken hedefi direkt gören en iyi tanjant noktası ile hedef arasındaki mesafeyi, $d_{takip\ edilen}$ engel sınırı takip edilirken engele olan minimum kaydedilen mesafeyi temsil eder.



Şekil 2.12 Sınır takip moduna örnek gösterim

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

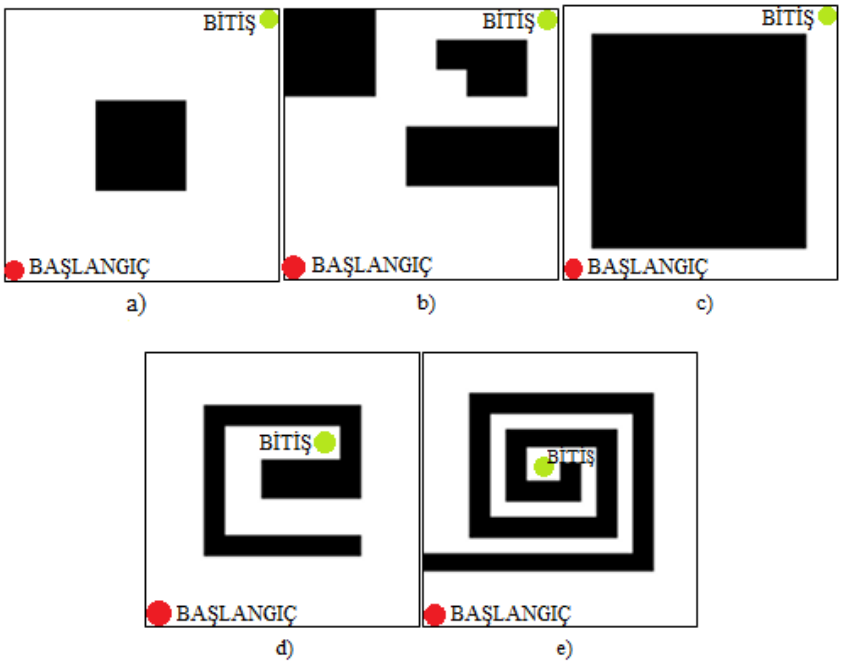
Araştırma bulguları iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda haritadaki engel sabit olarak tanımlanmıştır. Bu kısım, engel koordinatlarının bilindiği ve harekete başlanmadan önce rota planlamasının yapıldığı çalışmalar ile ilgili olacaktır. Genetik algoritma, olasılıksal yol haritası planlayıcı, parçacık sürü optimizasyonu, hızlıca keşfeden rastgele ağaçlar ve diferansiyel gelişim algoritması kullanılacak olan yöntemlerdir. Bu yöntemler birbirinden bağımsız olarak otuzar kez çalıştırılacak ve her seferinde planlanan rotaya ait mesafeler kaydedilecektir. Rota planlama uygulamaları 5 farklı haritada yapılacaktır. Yöntemlerden alınan sonuçlar tartışma bölümünde performans değerlendirmesi açısından kıyaslanacaktır. Kıyaslamanın adil parametrelerle yapılabilmesi için deterministik yöntemlerin iterasyon sayısı sezgisel yöntemlerin iterasyon sayısına eşitlenecektir. Örneğin genetik algoritma yönteminde her iterasyonda 70 popülasyon üretilecektir ve 50 iterasyon yapılacaktır. Yani her hesaplamada $70\,x\,50 = 3500$ rota üretilecektir. Deterministik yöntemlerde de eşit sayıda rota üretilebilmesi için her hesaplama 3500 iterasyon ile gerçekleştirilmiştir.

İkinci kısım, yine iki ayrı alt kısma ayrılacak, bunlar bilinen hareketli engellerin ve bilinmeyen sabit engellerin bulunduğu haritalardaki rota planlamaları olarak incelenecektir. Bilinen hareketli engellerin olduğu haritada rota planlama böcek-tanjant, OYH ve HKRA yöntemi ile gerçekleştirilecektir. Bilinmeyen sabit engellerin olduğu haritalarda ise rota planlama uygulaması OYH ve HKRA yöntemleri ile çalıştırılacaktır. Kothari 2010 yılında yaptığı çalışmada 20 simülasyon sonucu alarak yeterli sonuca ulaşmıştır. Bu bilgi doğrultusunda bu çalışmada algoritmalar 30'ar kez çalıştırılacaktır. Her koşumda elde edilen değerler kaydedilecektir. İlk kısımda da yapıldığı gibi bu verilerin minimum, maksimum, ortalama, standart sapma ve başarım oranı değerleri hesaplanacaktır. Başarım oranı değeri, bir algoritmanın otuz defa çalıştırılmasının kaçında rota planlama yapılabildiğinin tanımıdır.

3.1 Sabit Engelli Rota Planlaması

Sabit engelli rota planlama, konfigürasyon uzayında bulunan engel boyutlarının ve konumlarının değişmediği varsayılarak yapılan planlama türüdür. Harekete başlamadan önce haritadaki engellerin konumlarının bilindiği varsayılır ve bu duruma göre rota planlama yapılır. Sonrasında yapılan bu planlamaya göre araç rotasını engellere çarpmadan takip eder.

Rota planlamaların yapılacağı haritalar Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Çalışma içerisinde harita isimlendirilmesi Şekil 3.1'de a) Harita 1, b) Harita 2, c) Harita 3, d) Harita 4 ve e) Harita 5 şeklinde olacaktır. Haritalar üzerindeki kırmızı noktalar İHA'nın harekete başlangıç noktasını, yeşil noktalar ise hareketin bitiş noktasını göstermektedir.



Şekil 3.1 Rota planlamada kullanılan haritalar

Rota planlamalarda kullanılan parametreler temelde şöyle olacaktır :

- Rastgele nokta sayısı : Her iterasyonda haritaya atanacak olan noktaların sayısıdır. Aracın başlangıç noktasından hedef noktasına ulaşana kadar kaç nokta üzerinden geçeceğini ifade eder.

- Başlangıç noktası : Rota planlama yapıldıktan sonra harekete başlanacak yerdir. Haritanın ilk durumuna göre çevrimdışı rota planlama bu noktada yapılır.
- Bitiş noktası : Aracın gideceği hedef noktadır.
- X_{min} : Konfigürasyon uzayının X ekseninde aldığı en küçük değerdir. Algoritmalar rastgele nokta koordinatı oluştururken X ekseni için bu alt limiti kullanır.
- X_{maks} : Konfigürasyon uzayının X ekseninde aldığı en büyük değerdir. Algoritmalar rastgele nokta koordinatı oluştururken X ekseni için bu üst limiti kullanır.
- Y_{min} : Konfigürasyon uzayının Y ekseninde aldığı en küçük değerdir. Algoritmalar rastgele nokta koordinatı oluştururken Y ekseni için bu alt limiti kullanır.
- Y_{maks} : Konfigürasyon uzayının Y ekseninde aldığı en büyük değerdir. Algoritmalar rastgele nokta koordinatı oluştururken Y ekseni için bu üst limiti kullanır.

3.1.1 Olasılıksal yol haritası planlama çalışması

Yöntemde kullanılacak giriş paremetreleri bölüm 4.1'dekine ek olarak noktalar arasında kurulabilecek maksimum bağlantı mesafesi olacaktır. Uygulamada rastgele nokta sayısı serbest bölge içerisinde aracın bulunabileceği nokta sayısını, maksimum bağlantı uzaklığı rastgele noktalar arasında kurulabilecek en uzak bağlantı mesafesini tanımlamaktadır.

Harita 1, 2 ve 3 için giriş parametreleri başlangıç noktası [0, 0], varış noktası [9,9], Xmin=0, Xmaks=9, Ymin=0, Ymaks=9 olarak seçilmiştir. Uygulamalar arasında haritada oluşturulan rastgele nokta sayısı ve maksimum bağlantı uzaklığı parametreleri farklılık oluşturduğu için bu parametreler seçilen 3 farklı maksimum bağlantı uzaklığı ve 4 farklı rastgele nokta sayısı koşulları altında ayrı ayrı incelenmiştir. Rastgele nokta sayısı = 25,50,100 ve 200; maksimum bağlantı uzaklığı = 5,10,20 durumunda elde edilen sonuçlar Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 OYH harita 1 sonuç tablosu

RAST.NOK.	25			50		
BAĞ.MESF.	5	10	20	5	10	20
MİN	13,5026	13,4458	13,4495	13,4716	13,4171	13,4458
MAKS	13,5950	13,4976	13,5973	13,5313	13,4541	13,4824
ORTALAMA	13,5216	13,4560	13,4642	13,4786	13,4304	13,4634
ORTANCA	13,5038	13,4458	13,4495	13,4716	13,4241	13,4737
STD.SAPM.	0,0366	0,0170	0,0443	0,0176	0,0116	0,0145
BAŞARI %	100	100	100	100	100	100
RAST.NOK.	100			200		
BAĞ.MESF.	5	10	20	5	10	20
MİN	13,4393	13,4137	13,4372	13,4445	13,4063	13,4432
MAKS	13,4750	13,4564	13,4497	13,5018	13,4634	13,4803
ORTALAMA	13,4486	13,4152	13,4397	13,4708	13,4100	13,4543
ORTANCA	13,4393	13,4337	13,4372	13,4603	13,4134	13,4432
STD.SAPM.	0,0146	0,0090	0,0050	0,0132	0,0081	0,0170
BAŞARI %	100	100	100	100	100	100

Kullanılan yöntemde rastgele nokta sayısı arttıkça hesaplanan rota mesafesindeki ortalama değerin düştüğü görülmektedir. Örneğin bağlantı mesafesi 10 iken 25 nokta için ortalama 13,4560; 50 nokta için 13,4304; 100 nokta için 13,4152; 200 nokta için ise 13,4100 olarak bulunmuştur. Aynı şekilde nokta sayısı artışının standart sapma değerini düşürdüğü gözlemlenebilir. Örneğin bağlantı mesafesi 5 iken 25 nokta için standart sapma 0,0366; 50 nokta için 0,0176; 100 nokta için 0,0146; 200 nokta için ise 0,0132bulunmuştur. Yöntemde rastgele nokta sayısının artması minimum değeri %0,05 azalış yönünde etkilemiş, maksimum değeri de %0,86 azaltarak standart sapma değerinin %61,66 düşmesini sağlamıştır. Çizelge 3.2'de harita 2 için elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 3.2 OYH harita 2 sonuç tablosu

RAST.NOK.	25			50		
BAĞ.MESF.	5	10	20	5	10	20
MİN	13,7378	13,8608	13,9170	13,6635	13,7038	13,6269
MAKS	15,4323	14,1278	14,1348	13,8213	13,7338	13,6638
ORTALAMA	14,0183	13,9409	13,9591	13,7427	13,7221	13,6601
ORTANCA	13,9599	13,8608	13,9170	13,7441	13,7238	13,6638
STD.SAPM.	0,4828	0,1223	0,0856	0,0785	0,0076	0,0110
BAŞARI %	100	100	100	100	100	100
RAST.NOK.	100			200		
BAĞ.MESF.	5	10	20	5	10	20
MİN	13,6269	13,5946	13,6163	13,6016	13,5951	13,5776
MAKS	13,7125	13,6989	13,6751	13,6558	13,6687	13,5866
ORTALAMA	13,6551	13,6050	13,6442	13,6070	13,6010	13,5857
ORTANCA	13,6448	13,5946	13,6420	13,6016	13,6164	13,5866
STD.SAPM.	0,0242	0,0312	0,0228	0,0162	0,0238	0,0027
BAŞARI %	100	100	100	100	100	100

Harita 2'de de harita 1'de olduğu gibi benzer sonuçlar gözlemlenmiştir. Nokta sayısının artışı standart sapmayı ve ortalamayı düşürmüştür. Örneğin bağlantı mesafesi 10 iken 25 nokta için ortalama 13,9409; 50 nokta için 13,7221; 100 nokta için 13,6050; 200 nokta için ise 13,6241 olarak bulunmuştur. Standart sapma için de örnek verilirse, bağlantı mesafesi 5 iken 25 nokta için standart sapma 0,4828; 50 nokta için 0,0785; 100 nokta için 0,0242; 200 nokta için ise 0,0162 bulunmuştur. Yöntemde rastgele nokta sayısının artması minimum değeri %2,44 azaltmış, maksimum değeri de %3,88 azaltarak standart sapma değerinin %96,85 düşmesini sağlamıştır. Çizelge 3.3'de harita 3 için elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 3.3 OYH harita 3 sonuç tablosu

RAST.NOK.	25			50		
BAĞ.MESF.	5	10	20	5	10	20
MİN	16,3691	16,5775	16,5773	16,1918	16,1023	16,1714
MAKS	16,8749	16,9623	16,6842	16,2055	16,3026	16,2977
ORTALAMA	16,7539	16,6389	16,6340	16,2041	16,2064	16,2014
ORTANCA	16,8749	16,5775	16,6123	16,2055	16,2088	16,1873
STD.SAPM.	0,1660	0,1130	0,0428	0,0041	0,0165	0,0383
BAŞARI %	100	100	100	100	100	100
RAST.NOK.	100			200		
BAĞ.MESF.	5	10	20	5	10	20
MİN	16,2382	16,1878	16,1998	16,1772	16,1629	16,1794
MAKS	16,2805	16,2456	16,2600	16,2602	16,2602	16,2189
ORTALAMA	16,2653	16,2018	16,2002	16,2035	16,2195	16,1985
ORTANCA	16,2669	16,1878	16,2102	16,1983	16,2296	16,1977
STD.SAPM.	0,0099	0,0230	0,0246	0,0269	0,0286	0,0153
BAŞARI %	100	100	100	100	100	100

Bu haritada da rastgele nokta sayısının artışı ortalama değeri düşürerek daha kısa rotaların bulunmasını sağlamıştır. Örneğin bağlantı mesafesi 20 iken 25 nokta sayısında ortalama 16,6340; 50 nokta sayısında 16,2014; 100 nokta sayısında 16,2002; 200 nokta sayısında 16,1985 olarak bulunmuştur. Standart sapma değerinin de düşüşü 20 bağlantı mesafesinde 25 nokta için 0,0428; 50 nokta için 0,0383; 100 nokta için 0,0246; 200 nokta için ise 0,0153 şekline görülebilir. Yöntemde rastgele nokta sayısının artması minimum değeri %2,40 azaltmış, maksimum değeri de %2,79 azaltarak standart sapma değerinin %64,29 düşmesini sağlamıştır.

İlk üç haritadan farklı olarak harita 4 için giriş parametreleri başlangıç noktası [0, 0], varış noktası [8,8], Xmin=0, Xmaks=12, Ymin=0, Ymaks=12 olarak seçilmiştir. Benzer şekilde harita 4, rastgele nokta sayısı = 25, 50, 100 ve 200 maksimum bağlantı uzaklığı = 5, 10, 20 br. durumunda elde edilen sonuçlar Çizelge 3.4'de verilmiştir

Çizelge 3.4 OYH harita 4 sonuç tablosu

RAST.NOK.	25			50		
BAĞ.MESF.	5	10	20	5	10	20
MİN	25,5865	25,4137	26,5097	23,9465	23,2899	24,1352
MAKS	27,3643	25,4137	26,5097	25,0742	25,1597	25,0039
ORTALAMA	26,4754	25,4137	26,5097	24,6983	24,2794	24,3084
ORTANCA	26,3634	25,4137	26,5097	25,0742	24,1767	24,1352
STD.SAPM.	0,8964	0,7562	0,6358	0,5316	0,4896	0,3474
BAŞARI %	16,6665	16,6665	16,6665	49,9995	100	83,3325
RAST.NOK.	100			200		
BAĞ.MESF.	5	10	20	5	10	20
MİN	23,1071	23,2868	23,1997	22,9708	22,9866	22,9397
MAKS	23,6345	23,5159	23,8643	23,1882	23,0695	23,1209
ORTALAMA	23,2073	23,3784	23,6390	23,0578	23,0392	22,9578
ORTANCA	23,1071	23,2868	23,7324	22,9882	23,0500	22,9397
STD.SAPM.	0,1614	0,1122	0,2231	0,0995	0,0269	0,05436
BAŞARI %	100	100	100	100	100	100

Harita 4 üzerinde belirlenen hedef noktası erişim olarak daha zor bir noktada bulunduğu için az sayıda rastgele nokta hesaplamalarında başarım oranı daha düşüktür. Örneğin harita 3'te bağlantı mesafesi 5 ve rastgele nokta sayısı 25 iken başarım oranı %100 iken harita 4 için bu oran %16,6665'e düşmüştür. Haritada fazla sayıda rastgele nokta kullanıldığı durumda ortalama mesafenin kısaldığı görülmektedir. Örneğin bağlantı mesafesi 10 iken 25 rastgele nokta için ortalama 25,4137; 50 nokta için 24,2794; 100 nokta için 23,3784; 200 nokta için 23,0500 olduğu görülmektedir. Yöntemde rastgele nokta sayısının artması minimum değeri %4,95 azaltmış, maksimum değeri de %7,53 azaltarak standart sapma değerinin %84,36 düşmesini sağlamıştır.

Harita 5 için giriş parametreleri başlangıç noktası [0, 0], varış noktası [5, 7], Xmin=0, Xmaks=12, Ymin=0, Ymaks=12 olarak seçilmiştir. Benzer şekilde harita 5, rastgele nokta sayısı = 25, 50, 100 ve 200 maksimum bağlantı uzaklığı = 5, 10, 20 br. durumunda elde edilen sonuçlar Çizelge 3.5'te verilmiştir

Çizelge 3.5 OYH harita 5 sonuç tablosu

RAST.NOK.	25			50		
BAĞ.MESF.	5	10	20	5	10	20
MİN	0	0	0	79,7102	76,7896	79,0128
MAKS	0	0	0	81,9114	78,8695	81,5677
ORTALAMA	0	0	0	80,8203	77,8932	80,1237
ORTANCA	0	0	0	80,7269	77,9642	80,1169
STD.SAPM.	0	0	0	0,9867	0,8692	0,7463
BAŞARI %	0	0	0	16,6665	16,6665	16,6665
RAST.NOK.	100			200		
BAĞ.MESF.	5	10	20	5	10	20
MİN	77,4397	76,6641	76,6877	74,1428	75,0973	73,5056
MAKS	78,0591	77,2483	77,6150	76,1635	75,7601	74,5786
ORTALAMA	77,7494	76,9562	77,1513	75,0524	75,3182	73,7640
ORTANCA	77,7494	76,9562	77,1513	75,1539	75,0973	74,5786
STD.SAPM.	0,3097	0,2921	0,4636	0,2698	0,3124	1,6292
BAŞARI %	33,333	33,333	33,333	49,9995	49,9995	83,3325

Harita 5 için başarım oranının oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bu uygulamada da hedef noktası ulaşıma oldukça zor bir noktada bulunduğu için rastgele nokta sayısının 25 olduğu uygulamalarda rota hesaplanamamıştır. Rastgele nokta sayısının artmasıyla birlikte ortalama mesafenin azaldığı görülmektedir. Örneğin bağlantı mesafesi 20 iken 50 rastgele nokta için mesafe 77,8932;100 rastgele nokta için mesafe 77,1513; 200 nokta için 73,7640 olarak hesaplanmıştır. Yöntemde rastgele nokta sayısının artması minimum değeri %4,15 azaltmış, maksimum değeri de %3,91 azaltarak standart sapma değerinin %7,43 düşmesini sağlamıştır.

OYH yönteminde alınan sonuçlar rastgele nokta sayısındaki artışın rota mesafesini azalttığını göstermiştir. Rastgele nokta sayısının etkisi harita 5'teki gibi ulaşılması zor ve engellerin daha iç içe yapılar halinde olduğu durumlarda daha fazla görülebilmektedir. Nokta sayısı artışı etkisiyle harita 1'de standart sapma oranı %61,66 düşmüş, harita 4'te %84,36 düşmüştür. Harita 5'te ise 25 nokta ile rota hesaplanamamış ancak 50 ve daha fazla nokta kullanımıyla rota hesaplaması yapılabilmiştir.

3.1.2 Hızlıca keşfeden rastgele ağaçlar çalışması

Yöntemde kullanılan giriş parametreleri, haritaya göre değişen, harekete başlangıç noktası koordinatı, varış noktası koordinatı, harita üzerine rastgele yerleştirilecek olan nokta sayısı (değişken sayısı), adım mesafesi, arama uzayının X-Y koordinat düzlemindeki maksimum ve minimum noktaları şeklindedir.

Harita 1, 2 ve 3 için giriş parametreleri başlangıç noktası [0, 0], varış noktası [9, 9], Xmin=0, Xmaks=9, Ymin=0, Ymaks=9 olarak seçilmiştir. Haritada oluşturulan adım mesafesindeki değişiklik, sonuçlarda farklılık oluşturduğu için bu parametreler, seçilen 3 farklı adım mesafesinde ayrı ayrı incelenmiştir. Harita 1, harita 2 ve harita 3 için elde edilen sonuçlar Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.7'te verilmiştir.

Çizelge 3.6 HKRA harita 1 ve 2 sonuç tablosu

	Harita 1			Harita 2		
ADIM MESF.	0.5	1	2	0.5	1	2
MİN	13,9429	13,9257	13,9388	14,7503	14,1689	13,8817
MAKS	14,5415	14,8551	14,1721	14,8687	14,8841	13,9064
ORTALAMA	14,1956	14,0499	14,0201	14,8095	14,3835	13,9039
ORTANCA	14,1877	13,9703	14,0188	14,8095	14,1689	13,9064
STD.SAPM.	0,1361	0,2690	0,2721	0,0592	0,3277	0,0074
BAŞARI %	100	100	100	100	100	100

HKRA yönteminde adım mesafesi arttıkça adımdaki sapmalar hata oranını aynı oranda arttırır. Bu nedenle küçük adım kullanımı daha düşük standart sapma ve ortalama vermektedir. Örnek olarak harita 1'deki standart sapma incelenebilir. 0.5 adım mesafesi için 0,1361; 1 adım mesafesi için 0,2690; 2 adım mesafesi için 0,2721 olarak hesaplanmıştır. Yöntemde adım mesafesinin artması minimum değeri %0,03; maksimum değeri de %2,54 azaltmıştır. Standart sapma değeri bu doğrultuda %47,0217 oranında azalmıştır. Ortalamanın artışıyla ilgili de harita 2 incelenecek olursa 0.5 adım mesafesi için 14,1956; 1 adım mesafesi için 14,0499; 2 adım mesafesi için 14,0201 ortalama değerleri hesaplanmıştır. Yöntemde adım mesafesinin artması minimum değeri %5,8887,

maksimum değeri de %6,4720 azalmıştır. Standart sapma değeri bu doğrultuda %87,4831 azalmıştır.

Çizelge 3.7 HKRA harita 3 sonuç tablosu

ADIM MESF.	0.5	1	2
MİN	16,6002	16,8338	16,0847
MAKS	16,8767	17,0888	16,2975
ORTALAMA	16,6743	16,9278	16,1080
ORTANCA	16,6930	16,9345	16,0847
STD.SAPM.	0,0804	0,0776	0,0633
BAŞARI %	100	100	100

Harita 3'de de ortalama ve standart sapma değerleri adım mesafesinin artması ile artış göstermiştir. Adım mesafesi 0.5 iken ortalama 16,6743; 1 iken 16,9278; 2 iken 16,1080 olarak bulunmuştur. Standart sapma ise 0.5 adım mesafesi için 0,0804; 1 için 0,0776 ; 2 için 0,0633 olarak hesaplanmıştır. Yöntemde adım mesafesinin artması minimum değeri %3,1054 azaltmış, maksimum değeri de %3,4320 azaltmıştır. Standart sapma değeri bu doğrultuda %21,2898 azalmıştır.

Harita 4 için giriş parametreleri başlangıç noktası [0, 0], varış noktası [8, 8], Xmin=0, Xmaks=12, Ymin=0, Ymaks=12 olarak seçilmiştir. Hesaplama sonuçları Çizelge 3.8'te verilmiştir.

Çizelge 3.8 HKRA harita 4 sonuç tablosu

ADIM MESF.	0.5	1	2
MİN	22,7156	22,1229	21,9711
MAKS	24,0443	25,2047	25,9374
ORTALAMA	23,4945	23,6526	24,2429
ORTANCA	23,5721	24,0553	24,0833
STD.SAPM.	0,4362	1,3169	1,0527
BAŞARI %	100	100	100

Harita 4'te yapılan rota hesaplamalarında ortalama değerler adım mesafesinin artması ile birlikte artmıştır. 0.5 adım mesafesinde ortalama değer 23,4945; 1 adım mesafesi ile 23,6526; 2 adım mesafesi ile 24,2429 şeklinde hesaplanmıştır. Standart sapma da 0.5 adım mesafesi için 0,4362; 1 için 1,3169; 2 için 1,0527 bulumuştur. Yöntemde adım

mesafesinin artması minimum değeri %3,2775 azaltmış, maksimum değeri de %7,8734 artırdığı görülmüştür. Standart sapma değeri bu doğrultuda %141,3248 artmıştır.

Harita 5 için giriş parametreleri başlangıç noktası [0, 0], varış noktası [5, 7], Xmin=0, Xmaks=12, Ymin=0, Ymaks=12 olarak seçilmiştir. Hesaplama sonuçları Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Çizelge 3.9 HKRA harita 5 sonuç tablosu

ADIM MESF.	0.5	1	2
MİN	26,1052	26,2241	26,2139
MAKS	27,3750	27,1192	27,1192
ORTALAMA	26,1310	26,5928	26,8928
ORTANCA	27,1739	26,2346	26,8346
STD.SAPM.	0,4258	0,4099	0,3098
BAŞARI %	100	90	80

Harita 5'te alınan sonuçlar adım mesafesinin artması ile birlikte hesaplanan rotaların da ortalamasının arttığını ortaya koymuştur. Örneğin adım mesafesi 0.5 iken ortalama mesafe 26,1310; 1 iken 26,5928; 2 iken 26,8928 olarak hesaplanmıştır. Bunun nedeni harita 5'te köşe noktaların fazla olmasıdır. İki nokta arasındaki adım mesafesi arttıkça köşe bölgelerdeki yön değiştirmeler daha uzun yoldan yapılmıştır. Bu da ortalama mesafenin artması şeklinde sonuçlanmıştır. Yöntemde adım mesafesinin artması minimum değeri %65,9793, maksimum değeri de %63,7209 azaltmıştır. Standart sapma değeri bu doğrultuda %31,5442 artmıştır.

HKRA yönteminde adım mesafesindeki artışın rota mesafesini artırdığı gözlemlenmiştir. Engellerin bulunduğu dönüm noktalarında küçük adımlar ile yapılan manevralar büyük adımlar ile yapılan manevralardan daha kısa rota oluşturduğu için adım mesafesi artışı ile rota uzunluğunun da arttığı görülmüştür. Bunun bir kanıtı olarak daha az dönüm noktası içeren harita 2 ile daha çok dönüm noktası içeren harita 5 kıyaslanabilir. Harita 2'de adım mesafesinin artışıyla ortalama rota uzunluğu %6,1148 azalış gösterirken, harita 5'de %2,9200 artış şeklinde olmuştur.

3.1.3 Genetik algoritma çalışması

Yöntemde kullanılan giriş parametreleri, haritaya göre değişen, harekete başlangıç noktası koordinatı, varış noktası koordinatı, harita üzerine rastgele yerleştirilecek olan nokta sayısı (değişken sayısı), arama uzayının X-Y koordinat düzlemindeki maksimum ve minimum noktaları şeklindedir. Baker ve Ayechew (2003) yaptıkları araç rotalama problemi ile ilgili çalışmalarında genetik algoritma yöntemini kullanmışlar ve 50'den fazla durak noktası için populasyon boyutunu 50 olarak belirlemişlerdir. Bu çalışmada da harita üzerinde kullanılacak maksimum nokta sayısı 20 olacağı için populasyon boyutu 50 olarak belirlenmiştir. Wang ve Meng (2019) yaptıkları genetik algoritma ile rota planlama çalışmasında 30-50-70-100 nesil değerlerinde yapılan ölçüm kıyaslamalarını yeterli bulmuşlardır. Buradan hareketle Wang ve Meng'in yaptıkları çalışma örnek alınmış ve rota planlama çalışması için 70 jenerasyon boyutunda ölçümler alınmıştır.

Harita 1, 2, 3 için giriş parametreleri aşağıdaki gibi olacaktır. Uygulamalar arasında haritada oluşturulan rastgele nokta sayısındaki değişiklik, sonuçlarda farklılık oluşturduğu için bu parametreler, seçilen 3 farklı rastgele nokta sayısı koşulları altında ayrı ayrı incelenmiştir.

Harita 1,2 ve 3 için giriş parametreleri başlangıç noktası [0, 0], varış noktası [9, 9], Xmin=0, Xmaks=9, Ymin=0, Ymaks=9 olarak seçilmiştir. Rastgele nokta sayısı = 5, 10 ve 20 durumunda elde edilen sonuçlar Çizelge 3.10'da verilmiştir

Çizelge 3.10 GA harita 1 ve 2 sonuç tablosu

	Harita 1			Harita 2		
DEĞ.SAYI.	5	10	20	5	10	20
MİN	13,4262	13,6530	16,9531	13,7509	13,8585	19,0966
MAKS	14,1054	43,5428	53,7535	23,7156	29,7842	33,4502
ORTALAMA	13,5588	18,2913	21,6713	16,2424	18,2544	24,0031
ORTANCA	13,5100	15,5292	20,0072	15,6265	17,8274	23,6579
STD.SAPM.	0,1503	6,3784	6,6462	2,0923	2,7393	2,6499
BAŞARI %	100	100	100	100	100	100

Harita 1'e atanan 5 rastgele değişken ile alınan ölçümlerin ortalaması 13,5588 bulunmuştur. Rastgele değişken sayısı 10'a çıkartıldığında ortalama değer 18,2913; 20'ye çıkartıldığında ise 21,6713 olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde standart sapma da 5 rastgele değişken için 0,1503; 10 değişken için 6,3784; 20 değişken için 6,6462 olarak bulunmuştur. Değişken sayısının artması hesaplanan mesafe ortalamasını artırmıştır. Aynı zamanda değişken sayısı arttıkça ölçüm sonuçları arasındaki benzerlik azalmıştır. Yöntemde rastgele nokta sayısının artışıyla minimum değer %26,27; maksimum değer %281,08 artmıştır. Standart sapma değeri de bu doğrultuda %4,20 artmıştır. Harita 2 için rastgele nokta sayısının artışıyla minimum değer %38,88; maksimum değer %41,05 artmıştır. Standart sapma değeri de bu doğrultuda %26,65 artmıştır. Harita 3 ve 4 rota planlamasında elde edilen sonuçlar Çizelge 3.11'de verilmiştir. Harita 4 için giriş parametreleri başlangıç noktası [0, 0], varış noktası [8, 8], Xmin=0, Xmaks=12, Ymin=0, Ymaks=12 olarak seçilmiştir. Rastgele nokta sayısı = 5, 10 ve 20 durumunda elde edilen sonuçlar Çizelge 3.11'de verilmiştir.

Çizelge 3.11 GA harita 3 ve 4 sonuç tablosu

	Harita 3			Harita 4		
DEĞ.SAYI.	5	10	20	5	10	20
MİN	12,7702	13,7207	21,6089	-	15,2916	36,3729
MAKS	17,7934	21,4960	31,9305	-	34,6456	72,7506
ORTALAMA	16,3656	17,6518	26,2289	-	25,0564	47,9422
ORTANCA	16,3254	17,7428	26,1279	-	25,2503	45,0671
STD.SAPM.	0,7834	1,5223	2,5192	-	5,1257	9,7518
BAŞARI %	100	100	100	0	100	93,3333

Harita 3'e atanan 5 rastgele değişken ile alınan ölçümlerin ortalaması 16,3656 bulunmuştur. Rastgele değişken sayısı 10'a çıkartıldığında ortalama değer 17,6518; 20'ye çıkartıldığında ise 26,2289 olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde standart sapma da 5 rastgele değişken için 0,7834; 10 değişken için 1,5223; 20 değişken için 2,5192 olarak bulunmuştur. Değişken sayısının artması hesaplanan mesafe ortalamasını artırmıştır. Aynı zamanda değişken sayısı arttıkça ölçüm sonuçları arasındaki benzerlik azalmıştır. Yöntemde rastgele nokta sayısının artışıyla minimum değer %69,21; maksimum değer %79,45 artmıştır. Standart sapma değeri de bu doğrultuda %221,53 artmıştır. Harita 4

için rastgele nokta sayısının artışıyla minimum değer %137,86; maksimum değer %109,99 artmıştır. Standart sapma değeri de bu doğrultuda %90,25 artmıştır.

Harita 5 için giriş parametreleri başlangıç noktası [0, 0], varış noktası [5, 7], Xmin=0, Xmaks=12, Ymin=0, Ymaks=12 olarak seçilmiştir. Rastgele nokta sayısı = 5, 10 ve 20 durumunda elde edilen sonuçlara göre uygun rota planlaması yapılamamıştır (Çizelge 3.12).

Çizelge 3.12 GA harita 5 sonuç tablosu

	Harita 5		
DEĞ.SAYI.	5	10	20
MİN	-	-	-
MAKS	-	-	-
ORTALAMA	-	-	-
ORTANCA	-	-	-
STD.SAPM.	-	-	-
BAŞARI %	0	0	0

GA yönteminde ortalama rota mesafelerinin rastgele nokta sayısının artması ile arttığı görülmüştür. Oluşturulan her rota atanan her rastgele nokta üzerinden geçmektedir. Az sayıda iterasyon ile uygulama yapıldığında rastgele noktalar henüz daha kısa rota oluşturacak koordinatlara konumlanmamış olacaktır. Dolayısı ile daha kısa rota mesafeleri için rastgele nokta sayısı arttıkça iterasyon sayısı da artırılmalıdır. Bu sonucun etkisi daha iç içe ve kompleks yapılı engellerin bulunduğu haritalarda daha çok gözlemlenebilir. Örneğin harita 1'de 70 iterasyonda yapılan uygulamada rastgele nokta sayısının artması ile ortalama mesafe %59,83 artış gösterirken harita 4'te bu artış %91,34 olarak gözlemlenmiştir.

3.1.4 Parçacık sürü optimizasyon çalışması

Yöntemde kullanılan giriş parametreleri, haritaya göre değişen, harekete başlangıç noktası koordinatı, varış noktası koordinatı, harita üzerine rastgele yerleştirilecek olan nokta sayısı (değişken sayısı), arama uzayının X-Y koordinat düzlemindeki maksimum ve minimum noktaları şeklindedir.

Harita 1,2 ve 3 için giriş parametreleri başlangıç noktası [0, 0], varış noktası [9, 9], Xmin=0, Xmaks=9, Ymin=0, Ymaks=9 olarak seçilmiştir. Rastgele nokta sayısı = 5, 10 ve 20 durumunda elde edilen sonuçlar Çizelge 3.13 ve Çizelge 3.14'da verilmiştir.

Çizelge 3.13 PSO harita 1 ve 2 sonuç tablosu

	Harita 1			Harita 2		
DEĞ.SAYI.	5	10	20	5	10	20
MİN	13,4164	13,4180	14,2040	13,5571	13,3009	16,2719
MAKS	13,4369	18,0000	43,1414	13,6898	17,9995	35,5531
ORTALAMA	13,4190	14,5539	27,7108	13,5717	14,1678	21,7292
ORTANCA	13,4173	13,9268	28,0259	13,5572	13,8107	21,1085
STD.SAPM.	0,0042	1,4450	7,5878	0,0395	1,0848	3,9338
BAŞARI %	100	100	100	100	100	100

Pso'da sürüdeki değişken sayısının etkisi harita 1 ve harita 2 ile yapılan uygulama sonuçlarında görülmektedir. Harita 1'de standart sapma değerinin, 10 nokta için 1,4450; 20 nokta için 7,5878 olması buna örnek olarak verilebilir. Rastgele nokta sayısı arttıkça yapılan rota hesaplamaları arasındaki çeşitlilik artmış ve bu da standart sapma değerini artırmıştır. Yöntemde parçacık sayısının artışıyla minimum değer %5,87; maksimum değer %221,07 artmıştır. Harita 2 için bu artışlar minimum değer için %20,02; maksimum değer için %159,71 şeklinde olmuştur.

Rastgele nokta sayısının artması da mesafe hesaplamalarındaki ortalamayı artırmıştır. Örneğin harita 2'de 5 rastgele nokta ile yapılan hesaplamada ortalama 13,5717; 10 nokta ile yapılan hesaplamada 14,1678; 20 nokta ile yapılan hesaplamada 21,7292 olarak bulunmuştur.

Çizelge 3.14 PSO harita 3 sonuç tablosu

DEĞ.SAYI.	5	10	20
MİN	16,1245	16,1293	27,9180
MAKS	16,1511	33,0869	83,8701
ORTALAMA	16,1278	17,7081	58,0190
ORTANCA	16,1249	16,4285	55,6183
STD.SAPM.	0,0063	4,1325	17,5793
BAŞARI %	100	100	100

Harita 3'de rastgele nokta sayısının artışı ortalama ve standart sapmayı da beraberinde artırmıştır. 5 rastgele nokta sayısında ortalama 16,1278; 10 rastgele nokta kullanıldığında 17,7081 ve 20 rastgele nokta kullanıldığında 58,0190 olarak hesaplanmıştır. Standart sapma da 5 nokta için 0,0063; 10 nokta için 4,1325; 20 nokta için 17,5793 olarak bulunmuştur. Yöntemde parçacık sayısının artışıyla minimum değer %73,14; maksimum değer %419,28 artmıştır.

Harita 4 için giriş parametreleri başlangıç noktası [0, 0], varış noktası [8, 8], Xmin=0, Xmaks=12, Ymin=0, Ymaks=12 olarak seçilmiştir. Rastgele nokta sayısı = 5, 10 ve 20 durumunda elde edilen sonuçlar Çizelge 3.15'da verilmiştir.

Çizelge 3.15 PSO harita 4 sonuç tablosu

DEĞ.SAYI.	5	10	20
MİN	-	21,8780	23,6838
MAKS	-	27,2141	65,2743
ORTALAMA	-	24,1542	45,5240
ORTANCA	-	23,5986	44,1553
STD.SAPM.	-	1,6586	15,3124
BAŞARI %	0	26,6667	20

Harita 4'te rastgele nokta sayısının artışı ortalama ve standart sapmayı da beraberinde artırmıştır. 5 rastgele nokta sayısında uygun rota hesaplanamamıştır. 10 rastgele nokta hesaplamasında ortalama 24,1542; 20 rastgele nokta kullanıldığında ise 45,5240 bulunmuştur. Standart sapma ise 10 rastgele noktada 1,6586 olarak, 20 noktada ise 15,3124 şeklinde hesaplanmıştır. Yöntemde parçacık sayısının artışıyla minimum değer %8,25; maksimum değer %139,85 artmıştır.

Harita 5 için giriş parametreleri başlangıç noktası [0, 0], varış noktası [5, 7], Xmin=0, Xmaks=12, Ymin=0, Ymaks=12 olarak seçilmiştir. Bu parametreler kullanılarak uygun rota hesaplaması yapılamamıştır (Çizelge 3.16).

Çizelge 3.16 PSO harita 5 sonuç tablosu

DEĞ.SAYI.	5	10	20
MİN	-	-	-
MAKS	-	-	-
ORTALAMA	-	-	-
ORTANCA	-	-	-
STD.SAPM.	-	-	-
BAŞARI %	0	0	0

PSO yönteminde parçacık sayısının artışıyla birlikte rota mesafelerinin de arttığı görülmüştür. Sonuçlara göre parçacıkların bireysel en iyi noktalardan global en iyi noktalara ulaşabilmesi için iterasyon sayısının da rastgele nokta sayısı ile birlikte artması gerektiği yorumlanmıştır.

3.1.5 Diferansiyel gelişim algoritması

Yöntemde kullanılan giriş parametreleri, haritaya göre değişen, harekete başlangıç noktası koordinatı, varış noktası koordinatı, harita üzerine rastgele yerleştirilecek olan nokta sayısı (değişken sayısı), arama uzayının X-Y koordinat düzlemindeki maksimum ve minimum noktaları şeklindedir.

Harita 1, 2 ve 3 için giriş parametreleri başlangıç noktası [0, 0], varış noktası [9, 9], Xmin=0, Xmaks=9, Ymin=0, Ymaks=9 olarak seçilmiştir. Haritada oluşturulan rastgele nokta sayısındaki değişiklik, sonuçlarda farklılık oluşturduğu için bu parametreler, seçilen 3 farklı adım mesafesinde ayrı ayrı incelenmiştir. Harita 1, harita 2 ve harita 3 için elde edilen sonuçlar Çizelge 3.17 ve Çizelge 3.18'te verilmiştir.

Çizelge 3.17 DE harita 1 ve 2 sonuç tablosu

	Harita 1			Harita 2		
DEĞ.SAYI.	5	10	20	5	10	20
MİN	13,4622	15,8643	53,8623	13,6093	16,7345	42,0226
MAKS	13,5404	21,1038	72,6308	13,8912	22,2012	69,1308
ORTALAMA	13,5795	18,7324	63,5351	13,7101	19,5091	55,9017
ORTANCA	13,5687	18,7655	64,3532	13,6939	19,3795	54,5649
STD.SAPM.	0,0739	1,2805	4,6594	0,0696	1,4853	6,8091
BAŞARI %	100	100	100	100	100	100

Konfigürasyon uzayına atanan nokta sayısı arttıkça planlanan rotanın üzerinden geçmesi gereken nokta sayısı artar. Bu artış rota mesafesinin uzamasına ve hesaplanan mesafeler arasındaki çeşitliliğin artmasına sebep olur. Örneğin harita 1'de konfigürasyon uzayına atanan 5 nokta ile ortalama 13,5795; 10 nokta ile 18,7324; 20 nokta ile 63,5351 bulunmuştur. Standart sapma değerinin artışını gözlemlemek için de harita 2 sonuçları ele alınabilir. 5 nokta için standart sapma 0,0696; 10 için 1,4853; 20 için 6,8091 şeklinde hesaplanmıştır. Yöntemde harita 1 için rastgele nokta sayısının artışıyla minimum değer %300,10; maksimum değer %436,40 artmıştır. Bununla birlikte ortalama değer %367,88 artış göstermiştir. Harita 2 için rastgele nokta sayısının artışıyla minimum değer %208,78; maksimum değer %397,66 artmıştır. Bununla birlikte ortalama değer %307,74 artış göstermiştir.

Çizelge 3.18 DE harita 3 sonuç tablosu

DEĞ.SAYI.	5	10	20
MİN	16,2212	35,1279	60,7980
MAKS	17,1377	55,1058	93,1747
ORTALAMA	16,6842	43,4465	76,2131
ORTANCA	16,6537	43,7021	73,8230
STD.SAPM.	0,2490	4,7525	7,0324
BAŞARI %	100	100	100

Harita 1 ve harita 2 için yapılan yorum harita 3 sonuçları için de yapılabilir. Rastgele nokta sayısının artması ile ortalama değerin ve rotalar arasındaki çeşitliliğin arttığı görülmektedir. Örneğin 5 rastgele nokta için ortalama 16,6842; 10 nokta için 43,4465 ve 20 nokta için 76,2131 olarak hesaplanmıştır. 5 nokta için hesaplanan standart sapma değeri 0,2490 iken 10 nokta için 4,7525; 20 nokta için ise 7,0324 şeklinde bulunmuştur.

Harita 3 için rastgele nokta sayısının artışıyla minimum değer %274,81; maksimum değer %443,68 artmıştır. Bununla birlikte ortalama değer %356,80 artış göstermiştir.

Harita 4 için giriş parametreleri başlangıç noktası [0, 0], varış noktası [8, 8], Xmin=0, Xmaks=12, Ymin=0, Ymaks=12 olarak seçilmiştir. Hesaplama sonuçları Çizelge 3.19'da verilmiştir.

Çizelge 3.19 DE harita 4 sonuç tablosu

DEĞ.SAYI.	5	10	20
MİN	-	24,0217	-
MAKS	-	49,6351	-
ORTALAMA	-	35,4169	-
ORTANCA	-	35,2100	-
STD.SAPM.	-	5,6831	-
BAŞARI %	0	100	0

Harita 4'te 5 ve 20 rastgele nokta sayıları için uygun rota planlaması yapılamamıştır. Harita 4 rota planlanması için 5 rastgele nokta sayısı yeterlidir fakat algoritmanın bu 5 noktayı konfigürasyon uzayındaki en uygun yerlere yerleştirmesi daha fazla popülasyon ve iterasyon sayısında mümkün olacaktır. Harita 4'te 5 rastgele nokta kullanılarak 50 populasyon ve 70 iterasyon sayısı ile rota planlanamamıştır. 20 rastgele nokta sayısı için de rota planlama yapılamamıştır. Nokta sayısının fazla olması evrimsel algoritmalarda başarılı bireylerin seçilme olasılığını düşürür. Bundan dolayı popülasyondaki bireylerin (rastgele noktaların) sayısı arttıkça iterasyon sayısının da artması gereklidir.

Harita 5 için giriş parametreleri başlangıç noktası [0, 0], varış noktası [5, 7], Xmin=0, Xmaks=12, Ymin=0, Ymaks=12 olarak seçilmiştir. Harita 5, adım Mesafesi = 5, 10, 20 durumunda elde edilen sonuçlara göre uygun rota planlaması yapılamamıştır (Çizelge 3.20). 5 ve 10 rastgele nokta sayısı için rota planlama geometrik olarak imkansızdır. 20 rastgele nokta kullanılarak rota planlanması için ise daha fazla sayıda iterasyon ile hesaplama yapılmalıdır.

Çizelge 3.20 DE harita 5 sonuç tablosu

DEĞ.SAYI.	5	10	20
MİN	-	-	-
MAKS	-	-	-
ORTALAMA	-	-	-
ORTANCA	-	-	-
STD.SAPM.	-	-	-
BAŞARI %	0	0	0

Sabit engelli rota planlama bölümünde 5 farklı harita üzerinde OYH, RRT, GA, PSO ve DG algoritmaları 70 iterasyon için uygulanmış ve sonuçları ilgili bölümlerde verilmiştir. Örneklem tabanlı algoritmalardan (OYH, RRT) alınan sonuçlar noktalar arası adım mesafesi ve noktalar arası kurulabilecek maksimum bağlantı mesafesi parametrelerinin rota mesafesini doğrudan etkilediğini göstermiştir. Evrimsel tabanlı algoritmalardan (GA, PSO ve DG) alınan sonuçlar ise rastgele atanan nokta sayısının rota uzunluğunu doğrudan etkileyen parametre olduğunu göstermiştir.

Çizelge 3.21 Sabit engelli rota planlama başarım oranları

HARİTA 1				
OYH	HKRA	GA	PSO	DG
100	100	100	100	100
HARİTA 2				
OYH	HKRA	GA	PSO	DG
100	100	100	100	100
HARİTA 3				
OYH	HKRA	GA	PSO	DG
100	100	100	100	100
HARİTA 4				
OYH	HKRA	GA	PSO	DG
49,1665	100	64,4444	15,5555	33,3333
HARİTA 5				
OYH	HKRA	GA	PSO	DG
5,5555	90	0	0	0

Çizelge 3.21 sabit engelli rota planlama uygulamasında kullanılan yöntemlerin her harita için başarım oranlarını göstermektedir. Bu çizelgeye göre OYH yöntemi basit yapılı

engellerin bulunduğu haritalarda daha yüksek başarım oranına sahipken kompleks yapılı engellerin bulunduğu haritada başarım oranı düşmüştür. HKRA yöntemi her haritada rota hesaplaması yapabilmiş en başarılı yöntem olmuştur. GA daha basit engelli haritada daha başarılı olmuş, kompleks yapıda engel içeren haritalarda daha başarısız olmuştur. PSO yönteminde de engel kompleksliği arttıkça başarı seviyesi düşmüştür. DG algoritmasının da benzer şekilde engel yapısı kompleks hale geldikçe başarım oranının düştüğü gözlemlenmiştir. Evrimsel tabanlı algoritmalar arasında GA, örneklem tabanlı uygulamalar arasında ise HKRA algoritması en başarılı yöntemdir.

3.2 Dinamik Engelli Rota Planlaması

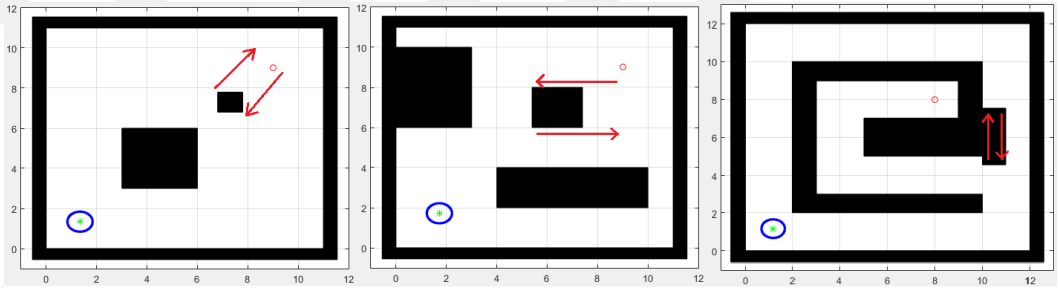
Bu bölümde rota planlama 2 alt başlıkta incelenecektir : belirli dinamik engelli rota planlama ve belirsiz sabit engelli rota planlama. Bölüm 3.2.1'de haritalarda hareketsiz engeller varken aynı zamanda hareket eden engellerin de bulunduğu durumlar için rota planlama yapılmıştır. Bu bölüme göre araç harekete başlamadan önce çevirimdışı rota planlama yapmaktadır. Hareket esnasında, araç sensörü ile hareket halindeki engeli tespit ettiğinde tekrar hareketli ve hareketsiz engellerin konumlarına göre rota planlama yapmaktadır. Hareketli engelin hızı Denklem 3.2.1'e göre hesaplanmıştır. Bu bölümde böcek tanjant, OYH ve HKRA algoritmaları kullanılmıştır.

$$Engel\ Hızı = \frac{Xmaks - Xmin}{Xmaks * 10}\ veya\ \frac{Ymaks - Ymin}{Ymaks * 10} \tag{3.18}$$

Bölüm 3.2.2'de haritada hareketsiz engelin yanı sıra konumu ve büyüklüğü bilinmeyen başka engellerin de bulunduğu durumlarda rota planlama yapılmıştır. Bu bölümde araç harekete başlamadan önce çevrimdışı rota planlama yapmaktadır. Hareket esnasında aracın sensörü ile yeni bir engel tespit edilirse tekrar rota planlama yapılır ve hedef noktasına ulaşılmaya çalışılır. Bu bölümde OYH ve HKRA algoritmaları kullanılmıştır.

3.2.1 Belirli dinamik engel rota planlama

Belirli dinamik engel rota planlama aşamasında böcek-tanjant, OYH, HKRA algoritmaları 3 farklı harita üzerinde çalıştırılacaktır. Zorluk dereceleri farklı olan her haritaya ait sonuç paylaşılacak, tartışma ve sonuç bölümünde yorumlanacaktır. Şekil 3.2 dinamik engelli rota planlama yapılacak haritaları ve dinamik engellerin hareket yönlerini göstermektedir. Haritalar soldan sağa a)Harita 1, b)Harita 2 ve c)Harita 4 olarak isimlendirilecektir. Harita 3 ve harita 5 serbest uzay alanı olarak daha kısıtlı olduğu için hareketli engel uygulamasına dahil edilmemiş sadece sabit engel uygulamalarında kullanılmıştır.



Şekil 3.2 Dinamik engelli rota planlaması yapılacak haritalar

3.2.1.1 Böcek Tanjant rota planlaması

Önceki uygulamalardan farklı olarak bu uygulamada başlangıç ve varış koordinatlarının farklı seçilmesinin sebebi, böcek-tanjant algoritmasında sensör menzilinin içerisinde tanımlanan güvenli alanın varlığıdır. Bu alan aracın engele en fazla ne kadar yaklaşabileceğini tanımlayan alandır. Başlangıç noktası [0, 0] olarak tanımlandığı durumda araç, sınır engeline güvenli alandan daha fazla yakınlaşacağı için uygun nokta olarak seçilemeyecektir. Dolayısı ile başlangıç ve varış noktaları 1'er birim kaydırılmıştır.

Harita 1 ve harita 2 için giriş parametreleri başlangıç noktası [1, 1], varış noktası [10, 10], Xmin=0, Xmaks=11, Ymin=0, Ymaks=11 olarak seçilmiştir. Harita 1 ve harita 2 elde edilen sonuçlar Çizelge 3.22'de verilmiştir.

Çizelge 3.22 Belirli hareketli böcek – tanjant harita 1 ve 2 sonuç tablosu

	HARİTA 1	HARİTA 2
MİN	14,1036	14,8600
MAKS.	19,9172	51,7583
ORTALAMA	16,9865	26,4412
ORTANCA	17,1868	26,3068
STD.SAPM.	2,0019	11,1053
BAŞ.ORANI %	100	100

Harita 4 için belirlenen hedef noktasının konumu, böcek tanjant algoritmasının lokal minimumda takılı kalmasına sebep olduğu için rota hesaplanamamıştır.

3.2.1.2 OYH rota planlaması

Harita 1 ve harita 2 için giriş parametreleri başlangıç noktası [0, 0], varış noktası [9, 9], Xmin=0, Xmaks=9, Ymin=0, Ymaks=9 olarak seçilmiştir. Harita 1'de elde edilen sonuçlar Çizelge 3.23'de verilmiştir.

Çizelge 3.23 Belirli hareketli OYH harita 1 sonuç tablosu

RAST.NOK.	25			50		
BAĞ.MESF.	5	10	20	5	10	20
MİN	13,5308	13,5811	13,7222	13,5292	13,5287	13,5849
MAKS	15,4123	14,4390	15,4595	14,4880	14,4787	15,4459
ORTALAMA	14,4137	14,0603	14,3212	14,0091	14,0520	14,4599
ORTANCA	14,3212	14,0486	14,1299	14,0050	14,0933	14,5403
STD.SAPM.	0,6093	0,2251	0,4887	0,2906	0,2780	0,5773
BAŞARI %	100	100	100	100	100	100
RAST.NOK.	100			200		
BAĞ.MESF.	5	10	20	5	10	20
MİN	13,5155	13,5326	13,5225	13,5012	13,5636	13,5550
MAKS	14,4991	14,4827	14,4686	14,4174	14,4937	14,4899
ORTALAMA	13,9897	13,9727	13,9758	13,9563	14,0203	14,0054
ORTANCA	13,9273	13,9445	14,0009	13,9617	14,0279	14,0048
STD.SAPM.	0,3067	0,2646	0,2746	0,2569	0,2673	0,2929
BAŞARI %	100	100	100	100	100	100

OYH yönteminde rastgele nokta sayısı sonucu önemli ölçüde etkilemektedir. Bu sonuç bölüm 4.1.1 sabit engel ile rota planlama uygulamasından elde edilmiştir. Yöntem aynı şekilde hareketli engel ile rota planlama uygulamasında da benzer sonuçlar üretmiştir. Örneğin 5 bağlantı mesafesinde 25 rastgele nokta için ortalama değer 14,4137 olarak; 50 nokta için 14,0091; 100 nokta için 13,9897; 200 nokta için ise 13,9563 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.24'te OYH yönteminin harita 1 için bir kıyaslaması bulunmaktadır. Bu kıyaslama harita 1'de sabit ve dinamik engeller varken yapılan rota planlama mesafeleridir. Tabloya genel olarak bakıldığında yüzde fark oranları haritada dinamik engel varken sabit engel ile yapılan rota planlamaya kıyasla ne kadar fark olduğunu göstermektedir. Farkların %0'a yakın olması OYH yönteminde dinamik engeller için feda edilecek rota mesafesinin çok yüksek olmadığını göstermektedir.

Çizelge 3.24 Sabit engelli ve dinamik engelli OYH harita 1 kıyaslama tablosu

HARİTA 1							
	RASTGELE NOKTA	25			50		
	BAĞ. MESF.	5	10	20	5	10	20
SABİT ENGELLİ	ORTALAMA	13,5217	13,4561	13,4643	13,4787	13,4304	13,4634
DİNAMİK ENGELLİ	ORTALAMA	14,4137	14,0603	14,3212	14,0091	14,0520	14,4599
	YÜZDE FARK	6,5972	4,4902	6,3644	3,9351	4,6286	7,4011
	RASTGELE NOKTA	100			200		
	BAĞ. MESF.	5	10	20	5	10	20
SABİT ENGELLİ	ORTALAMA	13,4486	13,4382	13,4397	13,4709	13,4601	13,4543
DİNAMİK ENGELLİ	ORTALAMA	13,9897	13,9727	13,9758	13,9563	14,0203	14,0054
	YÜZDE FARK	4,0233	3,9775	3,9893	3,6038	4,1620	4,0962

Harita 2 için elde edilen sonuçlar Çizelge 3.25'te verilmiştir. Yöntemde rastgele nokta sayısının artması minimum değeri %1,22 azalış yönünde etkilemiş, maksimum değeri de %6,27 azaltarak standart sapma değerinin %40,07 düşmesini sağlamıştır. Bununla birlikte ortalama değerde %2,20 düşüş gözlemlenmiştir.

Çizelge 3.25 Belirli hareketli OYH harita 2 sonuç tablosu

RAST.NOK.	25			50		
BAĞ.MESF.	5	10	20	5	10	20
MİN	13,5016	13,5679	13,7083	13,5757	13,5266	13,5207
MAKS	16,4699	17,2133	17,4376	16,4985	15,3243	15,4908
ORTALAMA	15,4693	15,2486	15,4604	15,0143	14,3028	14,4146
ORTANCA	15,4992	15,4774	15,4614	14,8945	14,1432	14,5109
STD.SAPM.	0,8241	1,0180	1,2743	0,9134	0,5791	0,5963
BAŞARI %	83,3333	86,6666	76,6666	90	93,3333	96,6666
RAST.NOK.	100			200		
BAĞ.MESF.	5	10	20	5	10	20
MİN	13,5513	13,5862	13,5372	13,5078	13,5740	13,5244
MAKS	14,4430	14,4706	14,4644	14,4138	14,4879	14,4569
ORTALAMA	13,9847	13,9357	13,9750	13,8682	13,9873	13,9959
ORTANCA	14,0699	13,8787	13,9421	13,7822	13,9234	14,0287
STD.SAPM.	0,2887	0,2644	0,2719	0,2614	0,2404	0,3025
BAŞARI %	100	100	100	100	100	100

Konfigürasyon uzayına atanan rastgele nokta sayısı hesaplanan rota ortalamasını harita 2'deki uygulama için de etkilemiştir. Bunun bir örneği olarak maksimum bağlantı mesafesi 10 iken haritaya atanan nokta sayılarına göre hesaplanan ortalama ve standart sapma değerlerine bakılabilir. 25 rastgele nokta atanarak hesaplanan rotalarda ortalama değer 15,2486; 50 nokta için 14,3028; 100 nokta için 13,9357; 200 nokta için 13,9873 olarak bulunmuştur. Yöntemde rastgele nokta sayısının artması minimum değeri %1,34 azalış yönünde etkilemiş, maksimum değeri de %17,09 azaltarak standart sapma değerinin %76,26 düşmesini sağlamıştır. Bununla birlikte ortalama değerde %9,47 düşüş gözlemlenmiştir.

Çizelge 3.26'da OYH yönteminin harita 2 için bir kıyaslaması bulunmaktadır. Farkların %0'a çok yakın olması OYH yönteminde dinamik engeller için feda edilecek rota mesafesinin çok yüksek olmadığını göstermektedir. 25 rastgele nokta sayısı için yüzde fark yaklaşık %2 - %4,5 arasında iken 200 rastgele nokta arasındaki yüzde fark %0,4'ten daha fazla değildir.

Çizelge 3.26 Sabit engelli ve dinamik engelli OYH harita 2 kıyaslama tablosu

HARİTA 2							
	RASTGELE NOKTA	25			50		
	BAĞ. MESF.	5	10	20	5	10	20
SABİT ENGELLİ	ORTALAMA	14,0183	13,9409	13,9598	13,7428	13,7221	13,6601
DİNAMİK ENGELLİ	ORTALAMA	15,4693	15,2486	15,4604	15,0143	14,3028	14,4146
	YÜZDE FARK	10,3511	9,3804	10,7495	9,2526	4,2319	5,5234
	RASTGELE NOKTA	100			200		
	BAĞ. MESF.	5	10	20	5	10	20
SABİT ENGELLİ	ORTALAMA	13,6552	13,6050	13,6442	13,6070	13,6241	13,5857
DİNAMİK ENGELLİ	ORTALAMA	13,9847	13,9358	13,9751	13,8683	13,9873	13,9959
	YÜZDE FARK	2,4134	2,4310	2,4248	1,9199	2,6661	3,0193

Harita 4 için giriş parametreleri başlangıç noktası [0, 0], varış noktası [8, 8], Xmin=0, Xmaks=12, Ymin=0, Ymaks=12 olarak seçilmiştir. Harita 4'te elde edilen sonuçlar Çizelge 3.27'de verilmiştir.

Çizelge 3.27 Belirli hareketli OYH harita 4 sonuç tablosu

RAST.NOK.	25			50		
BAĞ.MESF.	5	10	20	5	10	20
MİN	32,5162	25,6396	29,1207	25,6366	25,6647	26,5303
MAKS	37,8025	43,6389	37,1293	38,7472	39,9324	42,3035
ORTALAMA	34,5630	36,7424	32,5261	32,5710	31,5798	35,1263
ORTANCA	33,3704	38,9131	31,6327	33,6097	31,1208	35,8744
STD.SAPM.	2,3170	6,3267	2,6933	3,7790	3,8455	4,8389
BAŞARI %	10	30	40	86,6666	90	93,3333
RAST.NOK.	100			200		
BAĞ.MESF.	5	10	20	5	10	20
MİN	23,8051	23,6318	23,6959	22,5500	23,7137	23,5028
MAKS	28,3633	27,3993	28,4761	25,4864	26,4068	25,4272
ORTALAMA	26,1219	25,4010	26,4800	24,0405	25,1385	24,2972
ORTANCA	26,1350	25,3549	26,6748	24,0990	25,0168	24,2906
STD.SAPM.	1,4243	1,0799	1,4556	0,8442	0,7956	0,6047
BAŞARI %	100	100	100	100	100	100

Harita 4 için yapılan rota planlama uygulamalarında da rastgele nokta sayısındaki artış ortalama ve standart sapmayı azaltmıştır. Maksimum bağlantı mesafesi 10 olduğu durumda 25 rastgele nokta ile ortalama mesafe 36,7424; 50 nokta ile 31,5798; 100 nokta ile 25,4010; 200 nokta ile ise 25,1385 olarak hesaplanmıştır. Yöntemde rastgele nokta sayısının artması minimum değeri %19,29 azalış yönünde etkilemiş, maksimum değeri de %31,52 azaltarak standart sapma değerinin %77,55 düşmesini sağlamıştır. Bununla birlikte ortalama değerde %25,30 düşüş gözlemlenmiştir.

Çizelge 3.28'de OYH yönteminin harita 4 için bir kıyaslaması bulunmaktadır. Mesafe farkları düşük rastgele nokta sayısında diğer haritalara kıyasla harita 4'te daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun anlamı haritadaki engel davranışının değişmesi rota planlama için feda edilecek mesafenin artmasına sebep olmuştur. Aynı zamanda bu artışta rastgele nokta sayısının az olmasının etkisi de bulunmaktadır. Fakat rastgele nokta sayısı arttıkça mesafe farkları da %0'a yaklaşmaktadır.

Çizelge 3.28 Sabit engelli ve dinamik engelli OYH harita 4 kıyaslama tablosu

HARİTA 4							
	RASTGELE NOKTA	25			50		
	BAĞ. MESF.	5	10	20	5	10	20
SABİT ENGELLİ	ORTALAMA	26,4754	25,4137	26,5097	24,6983	24,2794	24,3089
DİNAMİK ENGELLİ	ORTALAMA	34,5630	36,7424	32,5261	32,5710	31,5798	35,1263
	YÜZDE FARK	30,5477	44,5771	22,6952	31,8755	30,0685	44,4996
	RASTGELE NOKTA	100			200		
	BAĞ. MESF.	5	10	20	5	10	20
SABİT ENGELLİ	ORTALAMA	23,2073	23,3784	23,6391	23,0572	23,0393	22,9578
DİNAMİK ENGELLİ	ORTALAMA	26,1220	25,4011	26,4801	24,0406	25,1385	24,2972
	YÜZDE FARK	12,5592	8,6517	12,0183	4,2650	9,1115	5,8343

3.2.1.3 HKRA rota planlaması

HKRA yöntemi ile harita 1 ve harita 2 için giriş parametreleri başlangıç noktası [0, 0], varış noktası [9, 9], Xmin=0, Xmaks=9, Ymin=0, Ymaks=9 olarak seçilmiştir. Harita 1'de elde edilen sonuçlar Çizelge 3.29'te verilmiştir.

Çizelge 3.29 Belirli hareketli HKRA harita 1 sonuç tablosu

	Harita 1		
ADIM MESF.	0.5	1	2
MİN	14,8152	14,8436	13,6816
MAKS	17,4736	18,4500	19,4723
ORTALAMA	16,2401	16,7072	17,0395
ORTANCA	16,2817	16,5442	17,2713
STD.SAPM.	0,7024	1,1630	1,7751
BAŞARI %	100	100	100

Bölüm 4.1.2'de HKRA rota planlaması adım mesafesinin ortalama ve standart sapma değerlerini önemli ölçüde etkilediği gözlemlenmişti. Dinamik ortamda da sonuçların sabit engelli rota planlama ile aynı doğrultuda olduğu incelenmiştir. Ortalama mesafe harita 1 için adım mesafesi 0.5 iken 16,2401; 1 iken 16,7072; 2 iken 17,0395 şeklinde bulunmuştur. Benzer şekilde standart sapma da adım mesafesi 0.5 iken 0,7024; 1 iken 1,1630; 2 iken 1,7751 olarak arttığı gözlemlenmiştir. Yöntemde adım mesafesinin artması minimum değeri %7,65 azaltmış, maksimum değeri de %11,44 artırmıştır. Standart sapma değeri bu doğrultuda %152,70 artmıştır. Ortalama değerin %4,92 arttığı görülmüştür.

Çizelge 3.30'da HKRA yönteminin harita 1 için bir kıyaslaması bulunmaktadır. Haritada bulunan engel yapısının basit olması sabit ve dinamik engelli planlamalar arasındaki mesafe yüzde farkının düşük olmasına sebep olmuştur. Bu uygulamada da adım mesafesinin artması ile yüzde farkın arttığı görülmektedir. Dinamik engelli planlamada engelin köşe sayısı arttığı için uzun adım mesafesi rota planlamada bir dezavantaj oluşturmaktadır. Harita 2'de elde edilen sonuçlar Çizelge 3.31'de verilmiştir.

Çizelge 3.30 Sabit engelli ve dinamik engelli HKRA harita 1 kıyaslama tablosu

HARİTA 1				
	ADIM MESAFESİ	0.5	1	2
SABİT ENGELLİ	ORTALAMA	14,1956	14,0499	14,0201
DİNAMİK ENGELLİ	ORTALAMA	16,2402	16,7073	17,0396
	YÜZDE FARK	14,4026	18,9140	21,5372

Çizelge 3.31 Belirli hareketli HKRA harita 2 sonuç tablosu

	Harita 2		
ADIM MESF.	0.5	1	2
MİN	14,6063	14,5687	14,5574
MAKS	17,4357	18,3341	18,3257
ORTALAMA	15,8677	16,4815	16,5475
ORTANCA	15,8391	16,4333	16,7487
STD.SAPM.	0,8020	1,1237	1,2539
BAŞARI %	100	100	100

Harita 2'de ise ortalama mesafe için adım mesafesi 0.5 iken 15,8677; 1 iken 16,4815; 2 iken 16,5475 şeklinde bulunmuştur. Benzer şekilde standart sapma da adım mesafesi 0.5 iken 0,8020; 1 iken 1,1237; 2 iken 1,2539 olarak arttığı gözlemlenmiştir. Yöntemde harita 2 için adım mesafesinin artması minimum değeri %0,33 azaltmış, maksimum değeri de %5,10 artırmıştır. Standart sapma değeri bu doğrultuda %56,33 artmıştır. Ortalama değerin %4,28 arttığı görülmüştür.

Çizelge 3.32'de HKRA yönteminin harita 2 için bir kıyaslaması bulunmaktadır. Yüzde farklar HKRA yönteminde dinamik engeller için feda edilecek rota mesafesinin çok yüksek olmadığını göstermektedir. Fakat yine de adım mesafesi 2 iken feda edilen mesafe kısa adım mesafesine göre fazladır.

Çizelge 3.32 Sabit engelli ve dinamik engelli HKRA harita 2 kıyaslama tablosu

HARİTA 2				
	ADIM MESAFESİ	0.5	1	2
SABİT ENGELLİ	ORTALAMA	14,8095	14,3835	13,9039
DİNAMİK ENGELLİ	ORTALAMA	15,8678	16,4815	16,5475
	YÜZDE FARK	7,1461	14,5867	19,0132

HKRA yöntemi ile harita 4 için giriş parametreleri başlangıç noktası [0, 0], varış noktası [8, 8], Xmin=0, Xmaks=12, Ymin=0, Ymaks=12 olarak seçilmiştir. Harita 4'te elde edilen sonuçlar Çizelge 3.33'de verilmiştir.

Çizelge 3.33 Belirli hareketli HKRA harita 4 sonuç tablosu

ADIM MESF.	0.5	1	2
MİN	31,6186	18,5079	12,7087
MAKS	37,3222	30,1903	18,4351
ORTALAMA	34,7329	23,6169	15,5558
ORTANCA	34,7738	22,7473	15,5931
STD.SAPM.	1,7171	3,2318	1,6866
BAŞARI %	100	100	100

Ortalama mesafe harita 4 için adım mesafesi 0.5 iken 34,7329; 1 iken 23,6169; 2 iken 15,5558 şeklinde bulunmuştur. Yöntemde adım mesafesinin artması minimum değeri %59,81; maksimum değeri %50,61 azaltmıştır. Ortalama değerin de bununla birlikte %55,21 azaldığı görülmüştür. Ortalama değerdeki azalış standart sapmanın da %1,78 azalmasını sağlamıştır.

Çizelge 3.34'de HKRA yönteminin harita 4 için bir kıyaslaması bulunmaktadır. Bu uygulamada adım mesafesi arttıkça ortalama mesafe düşmüştür. Adım mesafesinin küçük olması planlanan rotanın çizgisel halden kıvrımlı bir yol haline dönüşmesine sebep olmaktadır. Kıvrımlı şekilde planlanan rota da buna bağlı olarak daha uzun hesaplanmaktadır.

Çizelge 3.34 Sabit engelli ve dinamik engelli HKRA harita 4 kıyaslama tablosu

HARİTA 4				
	ADIM MESAFESİ	0.5	1	2
SABİT ENGELLİ	ORTALAMA	23,4945	23,6526	24,2429
DİNAMİK ENGELLİ	ORTALAMA	34,7329	23,6169	15,5558
	YÜZDE FARK	47,8341	-0,1510	-35,8336

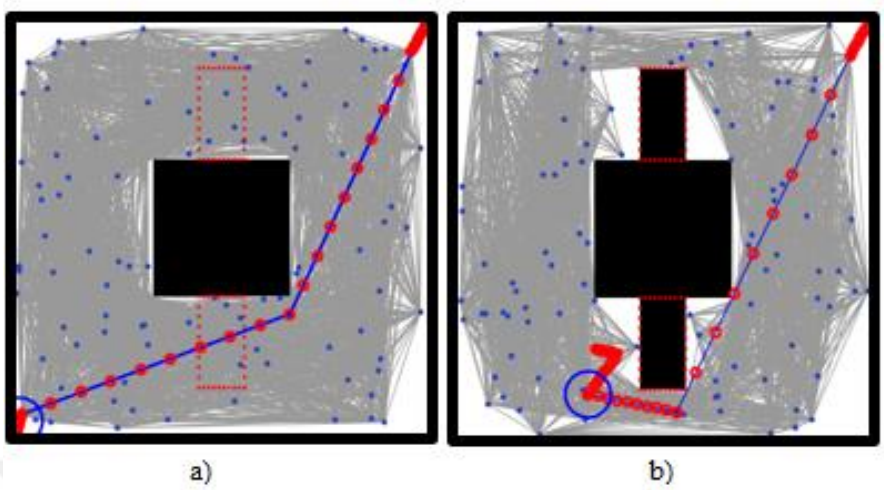
3.2.2 Belirsiz sabit engel rota planlama

Bu çalışmada rota planlama adımları şu şekilde yapılacaktır : Harekete başlanmadan önce harita üzerindeki engellerin bir kısmı bilinir durumdadır. Bu duruma göre planlama yapılır ve harekete başlanır. Hareket esnasında İHA tarafından bilinmeyen engel varlığı tespit edilir ve anlık olarak tekrar rota planlama yapılarak hedef noktasına varılmaya çalışılır. Burada bahsedilen bilinmeyen engel, İHA harekete başlamadan önce bilinmeyen fakat hareket esnasında İHA üzerinde eklenen sensör ile tespit edilen engel anlamı taşır.

Belirsiz engelli rota planlama çalışmasında HKRA ve OYH yöntemleri kullanılacak ve sonuç olarak planlanan rota mesafelerinin minimum, maksimum, ortalama, ortanca, standart sapma ve başarım oranı değerleri alınacaktır. Çalışmada HKRA ve OYH yöntemlerinin kullanılmasının sebebi sabit engelli rota planlama uygulamasında 5 yöntem arasından sadece HKRA ve OYH yöntemlerinin tüm haritalarda rota planlama yapabilmesidir.

HKRA ve OYH yöntemlerinde bilinmeyen engelin kenarları düzgün aralıklarla sıralanmış noktalardan oluşturulmuştur (Şekil 4.3). Aynı zamanda İHA'nın sensör alanını temsil etmesi için İHA'nın çevresinde dairesel bir alan oluşturulmuştur. İHA planlanan rotada hareket ederken sürekli engel kenar noktalarının İHA'nın çevresindeki dairesel alanın içerisinde olup olmadığı kontrol edilir. Engel kenar noktaları dairesel sensör alanının içerisine girerse harita güncellenir ve güncel duruma göre tekrar rota planlama yapılır.

Belirsiz engelli rota planlama çalışmasının yapılacağı harita 1 Şekil 3.3'deki gibi olacaktır.



Şekil 3.3 Belirsiz engelli rota planlama örneği

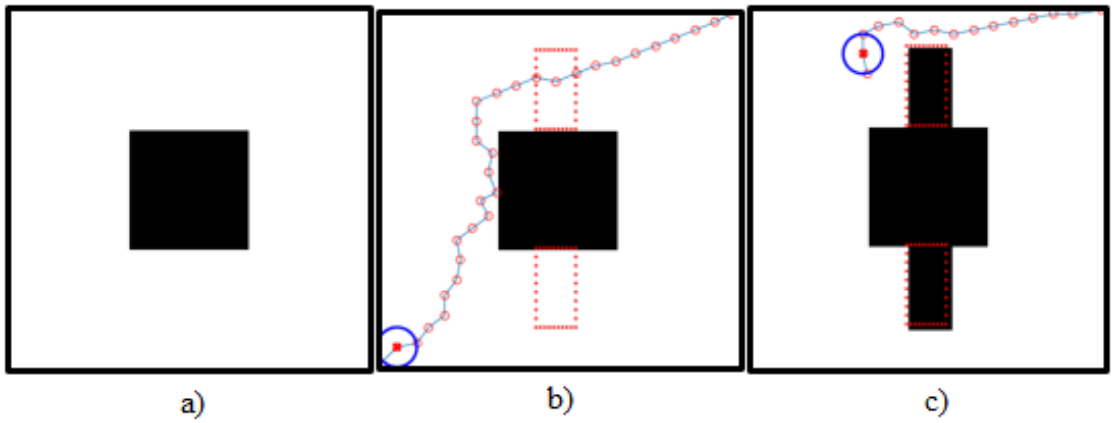
Şekil 3.3a'da harekete başlanmadan önceki durumda haritanın bilinen durumudur. Ortadaki harita, haritanın bilinen haline göre yapılmış rota planlamasının örnek halini gösterir. Kırmızı noktalar ile çevrelenmiş alanlar ise İHA'nın önceden bilmediği fakat sonradan sensörleri ile tespit edeceği engellerin konumlarıdır. Şekil 3.3b'de ise İHA'nın önceden bilmediği engellerin yerlerini tespit edip tekrar rota planlama yapacağı yeni haritanın gösterimidir.

HKRA yönteminde kullanıcak giriş parametreleri başlangıç noktası, hedef noktası, dallanmalar arası adım mesafesi, arama uzayının maksimum ve minimum X,Y noktaları olacaktır. OYH yönteminde kullanılan giriş parametreleri başlangıç noktası, hedef noktası, rastgele noktalar arasında kurulabilecek maksimum mesafe, rastgele nokta sayısı, arama uzayının maksimum ve minimum X,Y noktaları olacaktır.

3.2.2.1 HKRA rota planlaması

HKRA yöntemi ile harita 1, harita 2 ve harita 3 için giriş parametreleri başlangıç noktası [0, 0], varış noktası [9, 9], Xmin=0, Xmaks=9, Ymin=0, Ymaks=9 olarak seçilmiştir. Belirsiz engelli rota planlama çalışmasının yapılacağı harita 1 Şekil 3.4'teki gibi olacaktır. Harekete başlamadan önce yapılan çevrimdışı rota planlamada engelin bir

kısmı bilinmektedir Şekil 3.4a. Araç çevrimdışı belirlenen rotayı takip etmeye devam edecektir Şekil 3.4b. Engelin bilinmeyen kısmı araç sensörü tarafından tespit edildiğinde engel şekli yeniden tanımlanacaktır Şekil 3.4c. Yeniden rota planlaması yapılıp ve hedef noktasına ulaşılmaya çalışılacaktır. Harita 1'de elde edilen sonuçlar Çizelge 3.35'te verilmiştir.



Şekil 3.4 Harita 1 belirsiz engelli rota planlama örneği

Çizelge 3.35 Belirsiz ve sabit HKRA harita 1 sonuç tablosu

ADIM MESAFESİ	0.5	1	2
MİN	18,4049	13,9844	13,9844
MAKS	32,1682	41,0707	41,5970
ORTALAMA	24,3334	25,7860	27,2339
ORTANCA	23,3170	26,1920	27,2797
STD.SAPM.	4,0025	6,0046	6,9877
BAŞARI %	100	100	100

HKRA yönteminde adım mesafesinin hesaplanan rota mesafesini nasıl etkilediği bölüm 4.1.4'te incelenmişti. Belirsiz ve sabit rota planlama uygulamasında da benzer şekilde adım mesafesinin artışı ortalama mesafeyi artırmış ve standart sapmayı da beraberinde yükseltmiştir. Örneğin adım mesafesi 0.5 iken ortalama mesafe 24,3334, adım mesafesi 1 olduğu durumda 25,7860; 2 olduğunda da 27,2329 olarak bulunmuştur. Standart sapma sonuçları da 0.5 için 4,0025; 1 için 6,0046; 2 için de 6,9877 şeklinde hesaplanmıştır. Yöntemde adım mesafesinin artması minimum değeri %24,02 azaltmış, maksimum

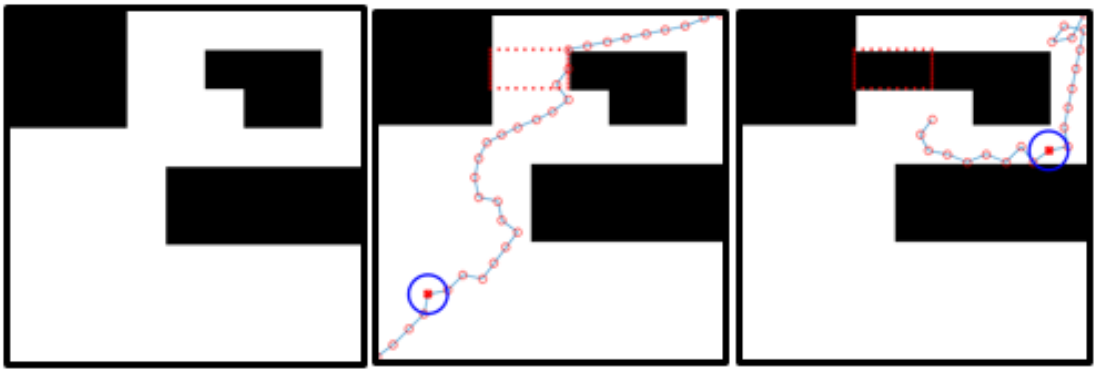
değeri de %29,31 artırmıştır. Standart sapma değeri bu doğrultuda %74,58 artmıştır. Ortalama mesafe değerinde de %11,92 artış gözlemlenmiştir.

Çizelge 3.36'de HKRA yönteminin harita 1 için sabit engelli ve belirsiz engelli rota kıyaslaması bulunmaktadır. Uygulamada sabit engel ve belirsiz engel için planlanan rota farklarının %50'den fazla olduğu görülmektedir. Özellikle adım mesafesi arttıkça çevrimiçi rota planlamada çevrimdışı rota planlamaya göre feda edilmesi gereken mesafe oldukça artmaktadır.

Çizelge 3.36 Sabit engelli ve belirsiz engelli HKRA harita 1 kıyaslama tablosu

HARİTA 1				
	BAĞ. MESF.	0.5	1	2
SABİT ENGELLİ	ORTALAMA	14,1956	14,0499	14,0201
BELİRSİZ ENGELLİ	ORTALAMA	24,3334	25,7861	27,2340
	YÜZDE FARK	71,4149	83,5327	94,2500

Belirsiz engelli rota planlama çalışmasının yapılacağı harita 2 Şekil 3.5'teki gibi olacaktır. Harekete başlamadan önce yapılan çevrimdışı rota planlamada engelin bir kısmı bilinmektedir Şekil 3.5a. Araç çevrimdışı belirlenen rotayı takip etmeye devam edecektir Şekil 3.5b. Engelin bilinmeyen kısmı araç sensörü tarafından tespit edildiğinde engel şekli yeniden tanımlanacaktır Şekil 3.5c. Yeniden rota planlaması yapılıp ve hedef noktasına ulaşılmaya çalışılacaktır. Hesaplamaya ait sonuçlar Çizelge 3.37'de verilmiştir.



Şekil 3.5 Harita 2 belirsiz engelli rota planlama örneği

Çizelge 3.37 Belirsiz sabit HKRA harita 2 sonuç tablosu

ADIM MESAFESİ	0.5	1	2
MİN	15,7562	16,0209	19,8617
MAKS	27,7762	39,4071	60,1457
ORTALAMA	24,0781	25,3667	33,6414
ORTANCA	24,4770	26,0568	32,1775
STD.SAPM.	2,4606	4,6001	7,5153
BAŞARI %	100	100	100

Harita 1'e benzer sonuç yine harita 2'de de görülmüştür. Ortalama değerler adım mesafesinin artmasıyla birlikte yükselmiştir. 0.5 adım mesafesi için 24,0781; 1 adım mesafesi için 25,3667; 2 adım mesafesi için ise 33,6414 olarak hesaplanmıştır. Yöntemde adım mesafesinin artması minimum değeri %26,06; maksimum değeri de %116,54 artırmıştır. Standart sapma değeri bu doğrultuda %205,42 artmıştır. Ortalama mesafe değerinde de %39,72 artış gözlemlenmiştir.

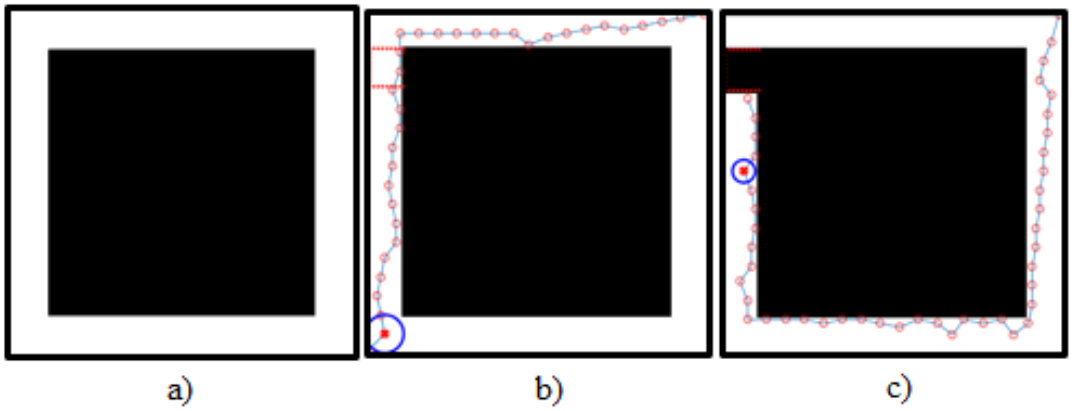
Çizelge 3.38'de HKRA yönteminin harita 2 için sabit engelli ve belirsiz engelli rota kıyaslaması bulunmaktadır. Uygulamada sabit engel ve belirsiz engel için planlanan rota farklarının %50'ye yakın olduğu görülmektedir. Adım mesafesinin artması ile birlikte belirsiz engel uygulamasında rota mesafesinde artış görülmüştür.

Çizelge 3.38 Sabit engelli ve belirsiz engelli HKRA harita 2 kıyaslama tablosu

HARİTA 2				
	BAĞ. MESF.	0.5	1	2
SABİT ENGELLİ	ORTALAMA	14,8095	14,3835	13,9039
BELİRSİZ ENGELLİ	ORTALAMA	24,0781	25,3668	33,6414
	YÜZDE FARK	62,5856	76,3608	141,9561

Belirsiz engelli rota planlama çalışmasının yapılacağı harita 3 Şekil 3.6'daki gibi olacaktır. Harekete başlamadan önce yapılan çevrimdışı rota planlamada engelin bir kısmı bilinmektedir Şekil 3.6a. Araç çevrimdışı belirlenen rotayı takip etmeye devam edecektir Şekil 3.6b. Engelin bilinmeyen kısmı araç sensörü tarafından tespit edildiğinde

engel şekli yeniden tanımlanacaktır Şekil 3.6c. Yeniden rota planlaması yapılıp ve hedef noktasına ulaşılmaya çalışılacaktır. Bu haritaya ait sonuçlar Çizelge 3.39'da verilmiştir.



Şekil 3.6 Harita 3 belirsiz engelli rota planlama örneği

Çizelge 3.39 Belirsiz sabit HKRA harita 3 sonuç tablosu

ADIM MESAFESİ	0.5	1	2
MİN	17,2785	17,0448	16,2738
MAKS	43,9245	50,5762	52,5961
ORTALAMA	36,5696	39,4107	33,8011
ORTANCA	41,0103	41,7721	34,2563
STD.SAPM.	9,5249	8,6563	7,5423
BAŞARI %	100	100	100

Rota planlama sonuçları incelenirken harita şekline göre yorum yapmak önemlidir. Harita 3 için 'de harita 2 ve harita 1'e yapılan yorumların benzeri yapılabilir fakat harita 3'te serbest uzay dar ve uzun koridorlardan oluşmaktadır. Bu adım mesafesinin uzun olmasını daha avantajlı hale getirir. Bu avantaj adım mesafesinin uzamasıyla birlikte standart sapmanın da düşmesi şeklinde yorumlanabilir. Örneğin adım mesafesi 0.5 iken standart sapma 9,5249; 1 iken 8,6563; 2 için ise 7,5423 olarak hesaplanmıştır. Yöntemde adım mesafesinin artması minimum değeri %5,81 azaltmış, maksimum değeri de %19,74 artırmıştır. Standart sapma değeri bu doğrultuda %20,81 azalmıştır. Ortalama mesafe değerinde de %7,57 azalış gözlemlenmiştir.

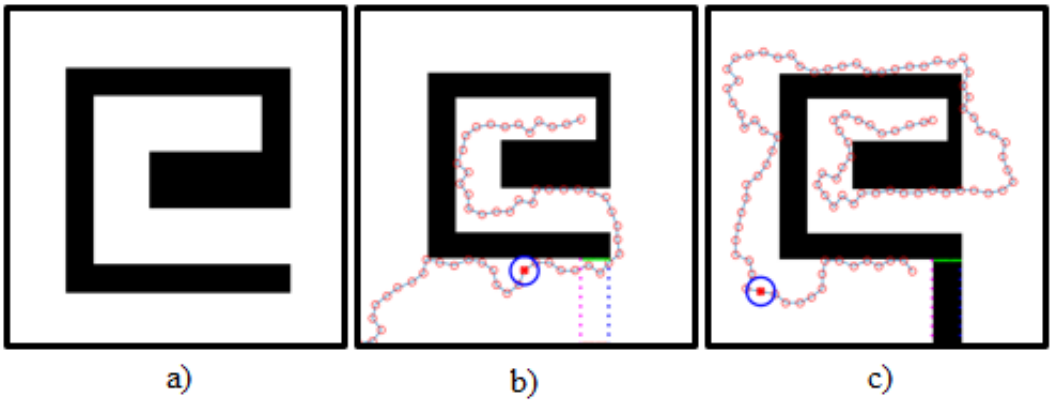
Çizelge 3.40'da HKRA yönteminin harita 3 için sabit engelli ve belirsiz engelli rota kıyaslaması bulunmaktadır. Bu uygulamada diğer haritalardan farklı olarak aracın çevrimdışı planladığı rota tamamen engellenmiştir. Bu durumda araç çevrimiçi rota

planlama yaptığında haritanın büyük çoğunluğunu tekrar takip etmek zorunda kalmıştır (Şekil 3.6). Bunun bir sonucu olarak da yüzde farklar diğer haritalara kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Önceki haritalara kıyasla adım mesafesi arttıkça yüzde fark bu haritada azalmıştır. Adım uzunluğu arttığı için 2. kez oluşturulan rotada koordinat çeşitliliği azalmış buna bağlı olarak da standart sapma düşmüştür.

Çizelge 3.40 Sabit engelli ve belirsiz engelli HKRA harita 3 kıyaslama tablosu

HARİTA 3				
	BAĞ. MESF.	0.5	1	2
SABİT ENGELLİ	ORTALAMA	16,6743	16,9278	16,1080
BELİRSİZ ENGELLİ	ORTALAMA	36,5696	39,4107	33,8012
	YÜZDE FARK	119,3179	132,8161	109,8415

HKRA yöntemi ile harita 4 için giriş parametreleri başlangıç noktası [0, 0], varış noktası [8, 8], Xmin=0, Xmaks=12, Ymin=0, Ymaks=12 olarak seçilmiştir. Belirsiz engelli rota planlama çalışmasının yapılacağı harita 4 Şekil 3.7'deki gibi olacaktır. Harekete başlamadan önce yapılan çevrimdışı rota planlamada engelin bir kısmı bilinmektedir Şekil 3.7a. Araç çevrimdışı belirlenen rotayı takip etmeye devam edecektir Şekil 3.7b. Engelin bilinmeyen kısmı araç sensörü tarafından tespit edildiğinde engel şekli yeniden tanımlanacaktır Şekil 3.7c. Yeniden rota planlaması yapılıp ve hedef noktasına ulaşılmaya çalışılacaktır. Harita 4'te elde edilen sonuçlar Çizelge 3.41'de verilmiştir.



Şekil 3.7 Harita 4 belirsiz engelli rota planlama örneği

Çizelge 3.41 Belirsiz sabit HKRA harita 4 sonuç tablosu

ADIM MESAFESİ	0.5	1	2
MİN	67,0613	65,1011	45,9581
MAKS	78,5004	84,8432	84,3704
ORTALAMA	72,2205	76,0255	64,0130
ORTANCA	71,7017	75,1093	64,3786
STD.SAPM.	3,2016	5,6202	12,0812
BAŞARI %	100	100	100

Harita 4'te konfigürasyon uzayında serbest alan harita 3'e göre daha geniştir. Çizelge 3.41'ta alınan sonuçlar harita 3 için yapılan yorumları destekler niteliktedir. Örneğin adım mesafesi 0.5 olduğu durumda standart sapma 3.2016 iken 1 için 5.6202'ye 2 için de 12,0812'ye yükselmiştir. Serbest uzay daha dar alanlardan oluşsaydı bu değerin adım mesafesi arttıkça düşmesi beklenirdi. Yöntemde adım mesafesinin artması minimum değeri %31,47 azaltmış, maksimum değeri de %7,48 artırmıştır. Standart sapma değeri bu doğrultuda %277,34 artmıştır. Ortalama mesafe değerinde de %11,36 azalış gözlemlenmiştir.

Çizelge 3.42'de HKRA yönteminin harita 4 için sabit engelli ve belirsiz engelli rota kıyaslaması bulunmaktadır. Bu uygulamada da harita 3'te olduğu gibi aracın çevrimdışı planlanan rotası engellenmiştir. Çevrimiçi rota planlama ile tekrar rota hesaplaması yapılmıştır. Dolayısı ile sabit engelli rota planlamaya kıyasla yüzde fark oldukça yüksek çıkmıştır.

Çizelge 3.42 Sabit engelli ve belirsiz engelli HKRA harita 4 kıyaslama tablosu

HARİTA 4				
	BAĞ. MESF.	0.5	1	2
SABİT ENGELLİ	ORTALAMA	23,4945	23,6526	24,2429
BELİRSİZ ENGELLİ	ORTALAMA	72,2206	76,0255	64,0131
	YÜZDE FARK	207,3935	221,4253	164,0488

3.2.2.2 OYH rota planlaması

OYH yönteminde kullanılan giriş parametreleri başlangıç noktası, hedef noktası, rastgele nokta sayısı, noktalar arası maksimum bağlantı mesafesi, konfigürasyon uzayının maksimum ve minimum sınırları olacaktır. Aşağıdaki sonuçlar harita 1 için yapılan rota planlama sonuçlarıdır. Harita1, harita2 ve harita 3 için giriş parametreleri başlangıç noktası [0, 0], varış noktası [9, 9], Xmin=0, Xmaks=9, Ymin=0, Ymaks=9 olarak seçilmiştir. Harita 1'de elde edilen sonuçlar Çizelge 3.43'te verilmiştir.

Çizelge 3.43 Belirsiz sabit OYH harita 1 sonuç tablosu

RAST.NOK.	25			50		
BAĞ.MESF.	5	10	20	5	10	20
MİN	8,7958	11,5782	9,6430	10,0632	10,8114	9,1386
MAKS	19,7191	19,6800	34,2902	18,7654	18,4596	19,7003
ORTALAMA	15,1663	16,2941	17,0152	15,3284	15,7283	15,6114
ORTANCA	15,8413	16,0489	15,9222	15,3521	15,4590	15,4990
STD.SAPM.	2,7742	1,6297	4,6321	1,7074	1,6574	1,8874
BAŞARI %	93,3333	100	100	100	100	100
RAST.NOK.	100			200		
BAĞ.MESF.	5	10	20	5	10	20
MİN	13,1018	9,6454	9,9692	13,8186	12,9174	12,8160
MAKS	16,4793	16,5567	16,1581	16,1590	16,3645	15,8434
ORTALAMA	15,0174	14,8181	14,7383	14,7491	14,4717	14,6190
ORTANCA	14,9527	14,9597	14,9200	14,6988	14,4674	14,5956
STD.SAPM.	0,7232	1,2107	1,0855	0,5553	0,7037	0,6550
BAŞARI %	100	100	100	100	100	100

OYH yönteminde harita 1 için yapılan rota hesaplamasında nokta sayısının artışı her seferinde oluşturulan rota çeşitliliğini azalttığı için standart sapma değeri düşmüştür. Örneğin standart sapma değerleri maksimum bağlantı mesafesi 5 iken 25 rastgele nokta için 2,7742; 50 nokta için 1,7074; 100 nokta için 0,7232; 200 nokta için ise 0,5553 olarak bulunmuştur. Yöntemde rastgele nokta sayısının artması minimum değeri %32,90 artış yönünde, maksimum değeri de %53,80 azalış yönünde etkilemiştir. Bununla birlikte standart sapma değerinin %85,86; ortalama mesafenin de %14,08 azaldığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 3.44'de OYH yönteminin harita 1 için sabit engelli ve belirsiz engelli rota kıyaslaması bulunmaktadır. Uygulamada belirsiz engelin varlığı rota mesafesini uzattığı için belirsiz engelli rota planlamalar sabit engelli rota planlama mesafelerine kıyasla daha fazla hesaplanmıştır. Rastgele nokta sayılarının artışı yine bu uygulamada da etkisini göstermiştir. Rastgele nokta sayısı 25 iken %26,3730 oranına kadar çıkan yüzde fark nokta sayısı 200 olduğunda %7.5 - %8.6 aralığına düşmüştür.

Çizelge 3.44 Sabit engelli ve belirsiz engelli OYH harita 1 kıyaslama tablosu

HARİTA 1							
	RASTGELE NOKTA	25			50		
	BAĞ. MESF.	5	10	20	5	10	20
SABİT ENGELLİ	ORTALAMA	13,5217	13,4561	13,4643	13,4787	13,4304	13,4634
BELİRSİZ ENGELLİ	ORTALAMA	15,1663	16,2941	17,0152	15,3284	15,7283	15,6115
	YÜZDE FARK	12,1631	21,0913	26,3730	13,7237	17,1100	15,9547
	RASTGELE NOKTA	100			200		
	BAĞ. MESF.	5	10	20	5	10	20
SABİT ENGELLİ	ORTALAMA	13,4486	13,4382	13,4397	13,4709	13,4601	13,4543
BELİRSİZ ENGELLİ	ORTALAMA	15,0174	14,8181	14,7383	14,7491	14,4717	14,6190
	YÜZDE FARK	11,6652	10,2681	9,6627	9,4888	7,5160	8,6568

Harita 2 için OYH uygulaması sonuçları Çizelge 3.45'te verilmiştir.

Çizelge 3.45 Belirsiz sabit OYH harita 2 sonuç tablosu

RAST.NOK.	25			50		
BAĞ.MESF.	5	10	20	5	10	20
MİN	14,6752	14,1998	14,5889	14,3662	14,2539	14,2196
MAKS	16,7795	20,4679	23,7311	18,4771	18,5471	17,6219
ORTALAMA	15,4346	16,4075	16,5119	15,9322	15,8502	16,0417
ORTANCA	15,4710	16,0361	15,4986	15,9983	15,8020	16,0190
STD.SAPM.	0,6172	1,9051	2,4486	0,9875	1,0721	0,9548
BAŞARI %	30	43,3333	40	63,3333	76,6666	66,6666
RAST.NOK.	100			200		
BAĞ.MESF.	5	10	20	5	10	20
MİN	14,0466	13,9292	14,1653	13,8990	13,9576	13,9790
MAKS	17,3182	17,7714	17,9441	17,0640	17,7927	16,7543
ORTALAMA	15,5185	15,9773	16,2486	15,5153	16,0061	15,7921
ORTANCA	15,7424	16,1480	16,1265	15,6637	16,2152	16,0305
STD.SAPM.	0,9253	1,0185	0,9702	0,8371	0,7688	0,7943
BAŞARI %	93,33333	100	86,66667	100	100	100

Harita 2'de yapılan uygulamadan alınan sonuçlar doğrultusunda nokta sayısının artmasıyla birlikte standart sapmanın düştüğünü incelemek mümkündür. Rastgele nokta sayısının daha yüksek olduğu uygulamalarda da en kısa rota hesaplanmıştır. Örneğin 20 maksimum bağlantı mesafesi için 25 nokta ile yapılan uygulamada en kısa rota 14,5889; 50 nokta ile 14,2196; 100 nokta ile 14,1653; 200 nokta ile 13,9790 şeklinde bulunmuştur. Yöntemde rastgele nokta sayısının artması minimum değeri %4,18; maksimum değeri de %29,40 azalış yönünde etkilemiştir. Bununla birlikte standart sapma değerinin %67,56; ortalama mesafenin de %4,36 azaldığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 3.46'da OYH yönteminin harita 2 için sabit engelli ve belirsiz engelli rota kıyaslaması bulunmaktadır. Bu harita için de yapılan uygulamada belirsiz engelin varlığı rota mesafesini uzattığı için belirsiz engelli rota planlamalar sabit engelli rota planlama mesafelerine kıyasla daha fazla hesaplanmıştır. Harita 3 için OYH uygulaması sonuçları Çizelge 3.47'de verilmiştir.

Çizelge 3.46 Sabit engelli ve belirsiz engelli OYH harita 2 kıyaslama tablosu

HARİTA 2							
	RASTGELE NOKTA	25			50		
	BAĞ. MESF.	5	10	20	5	10	20
SABİT ENGELLİ	ORTALAMA	14,0183	13,9409	13,9598	13,7428	13,7221	13,6601
BELİRSİZ ENGELLİ	ORTALAMA	15,4346	16,4076	16,5120	15,9322	15,8502	16,0418
	YÜZDE FARK	10,1035	17,6939	18,2821	15,9319	15,5088	17,4352
	RASTGELE NOKTA	100			200		
	BAĞ. MESF.	5	10	20	5	10	20
SABİT ENGELLİ	ORTALAMA	13,6552	13,6050	13,6442	13,6070	13,6241	13,5857
BELİRSİZ ENGELLİ	ORTALAMA	15,5186	15,9774	16,2487	15,5154	16,0061	15,7922
	YÜZDE FARK	13,6461	17,4371	19,0884	14,0248	17,4838	16,2412

Çizelge 3.47 Belirsiz sabit OYH harita 3 sonuç tablosu

RAST.NOK.	25			50		
BAĞ.MESF.	5	10	20	5	10	20
MİN	16,3891	16,3790	16,3606	16,3180	16,5103	16,3344
MAKS	29,2850	29,1794	32,7252	31,6845	30,4925	46,4536
ORTALAMA	18,1099	19,2133	22,6525	25,3550	22,2008	23,3722
ORTANCA	17,1501	16,7637	18,2347	28,6278	17,3090	28,0165
STD.SAPM.	3,2526	4,8474	6,3310	5,6116	6,1748	6,0324
BAŞARI %	43,3333	33,3333	46,6666	86,6666	80	93,3333
RAST.NOK.	100			200		
BAĞ.MESF.	5	10	20	5	10	20
MİN	16,2585	16,3085	16,2929	16,2721	16,2753	16,2877
MAKS	29,6437	29,8919	29,7191	28,6071	29,2752	28,8870
ORTALAMA	22,2998	23,1970	23,0806	20,7747	21,6383	21,6603
ORTANCA	17,1667	28,1626	27,8409	16,5171	16,7035	16,7001
STD.SAPM.	6,0592	6,1152	6,0155	5,6518	5,8814	5,9147
BAŞARI %	100	100	100	100	100	100

Başarım oranının konfigürasyon uzayına atanan rastgele nokta sayısına olan etkisi Çizelge 3.47'teki sonuç tablosunda gözlemlenebilmektedir. Örneğin rastgele nokta sayısı

25 iken başarı oranı %33 - %46 aralığında, 50 nokta kullanıldığında %80 - %93 aralığında, 100 ve 200 nokta kullanıldığında ise %100 olarak bulunmuştur. Yöntemde rastgele nokta sayısının artması minimum değeri %0,45; maksimum değeri de %11,73 azalış yönünde etkilemiştir. Bununla birlikte standart sapma değerinin %6,58; ortalama mesafenin de %4,38 azaldığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 3.48'de OYH yönteminin harita 3 için sabit engelli ve belirsiz engelli rota kıyaslaması bulunmaktadır. Bu harita için de yapılan uygulamada belirsiz engelin varlığı rota mesafesini uzattığı için belirsiz engelli rota planlamalar sabit engelli rota planlama mesafelerine kıyasla daha fazla hesaplanmıştır.

Çizelge 3.48 Sabit engelli ve belirsiz engelli OYH harita 3 kıyaslama tablosu

HARİTA 3							
	RASTGELE NOKTA	25			50		
	BAĞ. MESF.	5	10	20	5	10	20
SABİT ENGELLİ	ORTALAMA	16,7535	16,6390	16,6341	16,2041	16,2064	16,2015
BELİRSİZ ENGELLİ	ORTALAMA	18,1099	19,2133	22,6526	25,3551	22,2008	23,3723
	YÜZDE FARK	8,0964	15,4720	36,1819	56,4730	36,9879	44,2599
	RASTGELE NOKTA	100			200		
	BAĞ. MESF.	5	10	20	5	10	20
SABİT ENGELLİ	ORTALAMA	16,2654	16,2019	16,2569	16,2036	16,2196	16,1986
BELİRSİZ ENGELLİ	ORTALAMA	22,2999	23,1970	23,0807	20,7748	21,6384	21,6603
	YÜZDE FARK	37,1000	43,1750	41,9742	28,2111	33,4090	33,7176

Harita 4 için giriş parametreleri başlangıç noktası [0, 0], varış noktası [8, 8], Xmin=0, Xmaks=12, Ymin=0, Ymaks=12 olarak seçilmiştir. Harita 4'te elde edilen sonuçlar Çizelge 3.49'da verilmiştir.

Çizelge 3.49 Belirsiz sabit OYH harita 4 sonuç tablosu

RAST.NOK.	25			50		
BAĞ.MESF.	5	10	20	5	10	20
MİN	41,1854	41,1961	43,1678	39,7240	52,1190	38,6857
MAKS	41,1854	59,0573	57,2241	58,0378	61,4412	59,2890
ORTALAMA	41,1854	50,0237	50,1959	50,7757	54,9252	52,4898
ORTANCA	41,1854	49,9207	50,1959	54,6996	54,7473	54,5950
STD.SAPM.	0	7,9874	7,0281	6,7564	2,0539	5,8225
BAŞARI %	3,3333	13,3333	6,6666	56,6666	83,3333	73,3333
RAST.NOK.	100			200		
BAĞ.MESF.	5	10	20	5	10	20
MİN	36,7565	49,6712	50,7115	48,9460	49,3944	49,0139
MAKS	53,9057	54,8937	54,7436	52,3673	52,3201	51,7251
ORTALAMA	51,3128	52,1967	52,7748	50,6275	50,5532	50,2917
ORTANCA	51,9261	52,0507	52,9019	50,7061	50,4775	50,1802
STD.SAPM.	2,9396	1,2494	1,1327	0,8522	0,7624	0,7585
BAŞARI %	96,6666	100	100	100	100	100

Harita 3 ile benzer şekilde harita 4'te de rastgele nokta sayısının azalmasıyla başarım oranının da azaldığı görülmektedir. 25 nokta ataması yapıldığında ve maksimum bağlantı mesafesi 5 olarak seçildiği durumda 30 hesaplamanın sadece 1 tanesi başarılı şekilde rota hesaplaması yapabilmiştir. Bu yüzden standart sapma değeri 0 bulunmuştur. Bağlantı mesafesi 10 için standart sapma değeri 7,9847; 20 için ise 7,0281 şeklinde hesaplanmıştır. Rastgele nokta sayısı 200 olduğunda ise standart sapma değerleri 0,7585 – 0,8522 aralığında gözlemlenmiştir. Yöntemde rastgele nokta sayısının artması minimum değeri %13,54 artırmış, maksimum değeri de %9,61 azaltmıştır. Bununla birlikte standart sapma değerinin %89,21 azaldığı; ortalama mesafenin de %0,19 arttığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 3.50'de OYH yönteminin harita 4 için sabit engelli ve belirsiz engelli rota kıyaslaması bulunmaktadır. Harita 4'te yapılan rota planlama uygulamasında yüzde fark diğer haritalara kıyasla daha fazla hesaplanmıştır. Çevrimdışı planlanan rota mesafesi engel tespit edildikten sonra planlanan çevrimiçi rota mesafesine kıyasla daha kısadır. Engelin konumu daha kısa mesafe ile planlanan rotayı engellediği için hedef noktasına ulaşılabilmesi için daha fazla rotanın katedilmesi gerekmektedir. Buna bağlı olarak yüzde fark daha yüksek oranlarda hesaplanmaktadır.

Çizelge 3.50 Sabit engelli ve belirsiz engelli OYH harita 4 kıyaslama tablosu

HARİTA 4							
	RASTGELE NOKTA	25			50		
	BAĞ. MESF.	5	10	20	5	10	20
SABİT ENGELLİ	ORTALAMA	26,4754	25,4137	26,5097	24,6983	24,2794	24,3089
BELİRSİZ ENGELLİ	ORTALAMA	41,1854	50,0237	50,1960	50,7757	54,9253	52,4899
	YÜZDE FARK	55,5610	96,8376	89,3494	105,5840	126,2216	115,9282
	RASTGELE NOKTA	100			200		
	BAĞ. MESF.	5	10	20	5	10	20
SABİT ENGELLİ	ORTALAMA	23,2073	23,3784	23,6391	23,0572	23,0393	22,9578
BELİRSİZ ENGELLİ	ORTALAMA	51,3128	52,1967	52,7748	50,6275	50,5533	50,2918
	YÜZDE FARK	121,1063	123,2687	123,2528	119,5737	119,4222	119,0617

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tez çalışması kapsamında, olasılıksal yol haritası, genetik algoritma, parçacık sürü optimizasyonu, hızlıca keşfeden rastgele ağaçlar, diferansiyel gelişim algoritması ve böcek tanjant yöntemlerinin farklı zorluklardaki sabit ve dinamik engellere sahip haritalar üzerinde çalıştırılarak sonuçlar alınmıştır. Her bir algoritma için hesaplamalar 30'ar kez yapılarak bu sonuçların minimum, maksimum, ortalama, ortanca, standart sapma ve başarım oranı değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar doğrultusunda sabit harita ortamında en başarılı yöntemler belirlenmiş ve sonrasında çalışma, sabit engelli çalışma ortamından dinamik engelli çalışma ortamına dönüştürülerek rota planlama çalışmasına bu yöntemler ile devam edilmiştir. Dinamik engelli ortamda rota planlama, belirli dinamik engel ve belirsiz sabit engel olarak iki farklı senaryoda ele alınmıştır.

Dinamik engelli ortamda rota planlama önce çevrimdışı olarak yapılmıştır. Araç engeli farkettiği anda çevrimiçi planlama yaparak takip ettiği rotayı bırakıp yeni planlanan rota takibine geçilmiştir. Sonrasında her uygulama için katedilen tüm mesafeler sonuçlar tablosuna kaydedilmiştir. Bu sonuçlar her bölümün sonunda yorumlanmıştır.

Olasılıksal yol haritası yönteminde rota mesafesini etkileyen iki parametre olduğu görülmüştür. İlk parametre rastgele atanan noktalar arasında bağlantı kurulabilecek maksimum mesafe değeridir. Bu değer artılırdıkça haritaya atanan rastgele noktalar arasında kurulan olası rota sayısı artarak daha kısa rota mesafeleri elde edilmesini sağlamıştır. Sırasıyla 5, 10 ve 20 br. maksimum bağlantı mesafeleri için 30'ar kez hesaplanmış ve bu sonuçlar ışığında maksimum bağlantı mesafesinin artışının başarım oranını arttırdığı görülmüştür. Aynı zamanda bu bulgu doğrultusunda kurulabilecek maksimum mesafe arttıkça ortalama mesafenin de azaldığı görülmektedir. Rota mesafesini etkileyen ikinci parametrenin de haritaya atanan rastgele nokta sayısı olduğu görülmüştür. Rastgele nokta sayısının artması rotanın üzerinden geçebileceği koordinat nokta olasılığını da artırdığı için rota mesafesini etkilemiştir.

Olasılıksal yol haritası yöntemine ait sonuçlarda harita 5'te 25, 50 ve 100 rastgele nokta sayıları için yapılan hesaplamaların başarım oranlarının oldukça düşük olduğu

görülmektedir. Harita 5 diğer haritalarla kıyaslandığında daha fazla dönüm noktasına ve daha zor ulaşılabilir hedef noktasına sahiptir. Dolayısı ile olasılıksal yol haritası yönteminde 25, 50 ve 100 rastgele sayı ataması rota planlamada yeterli olmamıştır. 200 rastgele sayı ataması yapılmış rota planlama uygulamasında başarı oranının daha yüksek olduğu Çizelge 3.5'te görülmektedir.

Hedef noktalarının ulaşılması daha güç olduğu haritalar üzerinde daha yüksek sayıda rastgele değişken atanarak rota planlama yapılmalı ancak bu, işlem yükünü artıracağı için bu yöntemin daha basit engel yapısına sahip haritalarda kullanılması daha düşük kaynak tüketimi ile sonuca ulaşılmasını sağlayacaktır.

Genetik algoritma yönteminde arama uzayında tanımlanan rastgele değişken sayısı başlangıç ve hedef noktaları arasında planlanan rota uzunluğunu arttırmıştır. Harita 1'de yapılan hesaplama sonuçlarına göre rastgele nokta sayısı artışının genetik algoritma yönteminde optimum sonuçtan uzak ve daha tutarsız sonuçlar elde edilmesine neden olduğu görülmüştür. Sonuçların beklenenden uzak olması ortalama değerlerin karşılaştırılmasıyla yorumlanırken daha tutarsız oluşu standart sapmanın büyümesiyle anlaşılabilir.

Parçacık sürü optimizasyonunda arama uzayına atanan rastgele nokta sayısının rota mesafesini etkileyen bir parametre olduğu sonucuna varılmıştır. Farklı rastgele nokta sayılarıyla planlanan rotalarda dikkat çeken bir sonuca ulaşılmıştır. Bazı rastgele değişken sayılarında standart sapma değerlerinin çok düşük olması rota planlama yapılacak olan haritaya uygun sayıda rastgele değişken sayısı seçiminin sonuçları hangi oranda etkilediğini göstermiştir. Aynı zamanda rastgele atanan nokta sayısının artmasıyla birlikte rota çeşitliliği artmakta ve bu da rota mesafesini azaltıcı yönte etki etmektedir.
Hızlıca keşfeden rastgele ağaçlar yönteminde sonuçları etkileyen parametre haritada oluşturulan adım mesafeleridir. Sonuçlar doğrultusunda adım mesafesinin standart sapma değerini de doğrudan etkilediği görülmüştür. Çünkü adım mesafesi azaldıkça farklı planlamalardaki rotalar arasındaki fark bu ölçüde küçük olacaktır. Dolayısı ile rota hesaplamaları arasındaki çeşitlilik azalacak ve standart sapma da bu doğrultuda düşecektir.

Diferansiyel gelişim algoritmasında da harita üzerine atanan rastgele nokta sayısı sonuçları etkileyen bir parametredir. Nokta sayısının artması haritada hesaplanan rota çeşitliliğini artırmıştır. Dolayısı ile daha uygun rotaları oluşturabilmek için yeterli nokta sayısı da sağlanmış olur.

Belirli ve dinamik engelli rota planlama böcek-tanjant, HKRA ve OYH algoritmaları ile yapılmıştır. Böcek-tanjant algoritması ile alınan sonuçlara göre harita 4'te hedef noktasının (8,8) koordinatlarında bulunuyor olması ve aynı zamanda bu haritada hareketli bir engelin bulunuyor oluşu planlamayı zorlaştırıcı bir etmen olmuştur. Harita 1 ve harita 2'deki hareketli engeller aracın hareketi boyunca lokal minimuma takılmamasını sağlayacak şekilde konumlanmıştır. Dolayısı ile bu haritalarda başarılı şekilde rota planlama yapılmıştır. OYH yönteminde planlanan rota mesafesini haritaya atanan rastgele nokta sayısı etkilemektedir. Bölüm 3.2.1.2'de ortaya konulduğu şekilde bu bölümdeki uygulamada da rastgele nokta sayısının artması ile sabit engelli ve dinamik engelli rota planlama arasındaki yüzde fark azalmıştır. HKRA yönteminde ise adım mesafesinin etkili olduğu bölüm 3.2.1.3'te yorumlanmıştır. Adım mesafesinin artması daha köşeli engel içeren haritalar için bir dezavantaj oluşturmuştur. Bunun bir sonucu olarak da sabit engelli ve dinamik engelli rota planlama arasındaki yüzde fark adım mesafesinin artması ile birlikte artmıştır.

Belirsiz dinamik engel bulunan rota planlamalarında HKRA ve OYH planlayıcı kullanılmış ve sonuçlar alınmıştır. İki yöntemin de başarım oranlarının %100 olmasına karşın HKRA yönteminde minimum ve maksimum değerler arasındaki farkın fazla olması bu yöntemi daha tutarsız kılmıştır. OYH ise sonuçların daha küçük standart sapma ve ortalama mesafe değerleri ile daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Maksimum ve minimum mesafeler arasındaki farkın az olması standart sapmayı düşürmüş ve ortalama mesafe değerlerini optimum sonuca yaklaştırarak bu yöntemin daha başarılı olduğunu göstermiştir. Yöntemde rastgele nokta sayısının artması rota çeşitliliğini artırmıştır. Bunun bir sonucu olarak da sabit engelli ve belirsiz engelli rota planlama ortalamalarında yüzde fark nokta sayısının artması ile birlikte azalmıştır.

Sabit engelli rota planlama çalışmalarından elde edilen sonuçlardan yola çıkarak GA'nın çok parametreli kısıtlar altında, az sayıda rastgele değişken sayısı ile daha başarılı sonuçlar veriyor oluşu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda dinamik engelli rota planlama çalışmalarından görüldüğü üzere dinamik engel içeren haritalarda OYH yönteminin daha düşük standart sapmaya sahip olması sebebiyle daha iyi bir yöntem olduğu söylenebilir. Bu çalışmanın bir sonraki adımında bu iki yöntem birlikte çalıştırılarak hibrit bir yöntem geliştirilebilir ve dinamik engellerin bulunduğu çok kısıtlı haritalarda daha etkili sonuçlar elde edilebilir.

KAYNAKLAR

Andert, F., Adolf, F., Goormann, L., Dittrich, J. 2011. Mapping And Path Planning In Complex Environments: An Obstacle Avoidance Approach For An Unmanned Helicopter. IEEE International Conference on Robotics and Automation.

Arıca, N., Cicibaş, H., Demir, K.A. 2012. İnsansız Hava Araçları İçin Çok Kriterli Güzergâh Planlama Modeli. Savunma Bilimleri Dergisi, 11(1), 251-270.

Babel, L. 2013. Three-dimensional route planning for unmanned aerial vehicles in a risk environment. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 71(2), 255-269.

Baker, B. M., Ayechew, M. A. 2003. A genetic algorithm for the vehicle routing problem. Computers & Operations Research, 30(5), 787-800.

Banerjee, B., Chandrasekaran B. 2012. A Framework Of Voronoi Diagram For Planning Multiple Paths İn Free Space. Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence, 25(4), 457-475.

Beard, R. W., McLain, T. W., Goodrich, M.A., Anderson, E.P. 2002. Coordinated target assignment and intercept for unmanned air vehicles. IEEE Transaction on Robotics and Automation, 18(6), 911-922.

Bortoff, S. A. 2000. Path planning for UAVs. In American Control Conference, 1(6), 364-368.

Buran, B.A. 2019. Kısıtlara bağlı matematiksel modelleme ile insansız hava aracı için yumuşatılmış rota planlaması. Doktora Tezi. İstanbul Kültür Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.

Can, M.S., Çivicioğlu P., 2016. İnsansız hava araçlarının rota optimizasyonu, VI. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, 1-6.

Carlyle, W. M., Royset, J.O., Wood, R.K. 2007. Routing military aircraft with a constrained shortest-path algorithm. Naval Postgraduate School Monterey Ca Dept Of Operations Research, Military Operations Research.

Chen, H., Wang, X. M., Li, Y. 2009. A survey of autonomous control for UAV. IEEE 9th International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence (AICI'09), 2, 267-271.

Çekmez, U., Özsığınan, M., Aydın, M., Şahingöz, Ö. K. 2014. UAV path planning with genetic algorithms on CUDA architecture. International Conferece on Unmanned Aircrac Systems, 347-354.

Dantzig, G., B., Ramser. J., H. 1959. The Truck Dispatching Problem. Management Science, 6(1), 80-91.

Das, S., Suganthan, P., N. 2011. Differential Evolution: A Survey of the State-of-the-Art. Ieee Transactıons On Evolutıonary Computatıon, 15(1), 4-31.

De Filippis, L., Guglieri, G., & Quagliotti, F. 2011. A minimum risk approach for path planning of UAVs. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 61(1-4), 203-219.

Doğan, A. 2003. Probabilistic Approach in path planning for UAVs. IEEE International Symposium on Intelligent Control, 608-613.

Duan, H., Li, P., Shi, Y. 2015. Interactive learning environment for bio-inspired optimization algorithms for UAV path planning. IEEE Transactions on Education, 58(4), 276-281.

Eppstein, D. 1998. Finding the k Shortest Path. SIAM Journal on Computing, 28(2), 652-673

Ercan, C., Gencer, C. 2013. Dinamik İnsansız Hava Sistemleri Rota Planlaması Literatür Araştırması Ve İnsansız Hava Sistemleri Çalışma Alanları. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19(2), 104-111.

Foo, J., Knutzon, J., Oliver, J., Winer, E. 2006. Three dimensional path planning of unmanned aerial vehicles using particle swarm optimization. 11th. AIAA/ISSMO Multidisciplinary Analysis and Optimization Conference, 1-10.

Fu, Y., Ding, M., Zhou, C., Hu, H. 2013. Route Planning for Unmanned Aerial Vehicle (UAV) on the Sea Using Hybrid Differential Evolution and Quantum-Behaved Particle Swarm Optimization. IEEE Transactıons On Systems, Man, And Cybernetics: Systems, 43(6).

Fukasawa, R., Longo, H., Lysgaard, J., Aragão, M. P. D., Reis, M., Uchoa, E., & Werneck, R. F. 2006. Robust branch-and-cut-and-price for the capacitated vehicle routing problem. Mathematical programming, 106(3), 491-511.

Gao, C., Zhen, Z., and Gong, H. 2016. A self-organized search and attack algorithm for multiple unmanned aerial vehicles. Aerospace Science and Technology, 54, 229 – 240.

Gencer, C., Aydoğan, E.K., Kocabaş, S. 2019. İnsansız Hava Araçlarının Rota Planlaması İçin Bir Karar Destek Sistemi. Yüksek Lisans Tezi, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü.

Goerzen C., Kong Z., Mettler B. 2009. A Survey of Motion Planning Algorithms from the Perspective of Autonomous UAV Guidance. B. J Intell Robot Syst, 57:65.

Goraj, Z. 2003. Civilian Unmanned Aerial Vehicles – Overview of European Effort and Challenges for the Future. Aviation Journal, Vilnius, 7(1), 3-15.

Ergezer, H., Leblebicioğlu M. K. 2012. Path planning and coordinated guidance of multiple unmanned aerial vehicles. IEEE 20th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 1-4.

Helgason, R.V., Kennington, J.L., Lewis, K. R. 2001. Cruise missile mission planning: a heuristic algorithm for algorithm for automatic path generation. Journal of Heuristic, 473-494.

Hrabar, S. 2008. 3D Path Planning And Stereo-Based Obstacle Avoidance For Rotorcraft Uavs. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems.

Jun, M., D'Andrea, R. 2003. Path planning for unmanned aerial vehicles in uncertain and adversarial environments. In Cooperative Control: Models, Applications and Algorithms, 95-100.

Karaboga, D., Okdem, S. 2004. A Simple and Global Optimization Algorithm for Engineering Problems: Differential Evolution Algorithm. Turk Journal of Electrical Engineering 12(1), 53–60.

Karaman, S., Frazzoli E. 2011. Sampling-Based Algorithms For Optimal Motion Planning. The International Journal of Robotics Research, 30(7), 846-894.

Kavraki, L. E., Svestka, P. J., Latombe C., ve Overmars, M. H. 1996. Probabilistic roadmaps for path planning in high-dimensional configuration spaces. In IEEE Transactions on Robotics and Automation, 12(4), 566-580.

Kennedy, J., Eberhart R., C. 1995. Particle swarm optimization. IEEE Int'l. Conf. on Neural Networks, 1942-1948.

Khatib, O. 1986. Real-Time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobile Robots. In: Cox I.J., Wilfong G.T. (eds) Autonomous Robot Vehicles.

Kothari, M., Postlethwaite, I., Da-Wei, G. 2010. International Journal of Aerospace Innovations. 2 Issue 1/2, 93-103.

Krishna, K.M., Hexmoor, H., Pasupuleti, S., Llinas, J. 2005. Parametric control of multiple unmmaned air vehicles over an unknown hostile territory. In Proceedings of International Conference on Integration of Knowledge Intensive Multi-Agent Systems, 117-121.

Lam, T. M., Boschloo, H. W., Mulder, M., Paassen, M. M. 2009. Artificial Force Field for Haptic Feedback in UAV Teleoperation. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans, 39(6).

Laporte, G. 1992. The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms. European Journal of Operational Research, 59(3), 345-358.

Laporte, G., Nobert, Y., Desrochers, M. 1985. Optimal routin under capacity and distance restrictions. Operations Research, 33(5), 1050-1073.

LaValle, S. 2000. Robot Motion Planning: A Game-Theoretic Foundation. Algorithmica. 26, 430-465.

Lee, D., Shim, D.H. 2014 In: International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS) Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), International Conference. 317-328.

Lin, N., Zhang, Y. 2014. In: IEEE 5th International Conference on Software Engineering and Service Science Software Engineering and Service Science (ICSESS), 5th IEEE International Conference. 1111-1114.

Lumelsky, V.J., Stepanov, A.A. 1987. Path-planning strategies for a point mobile automaton moving amidst unknown obstacles of arbitrary shape. Algorithmica 2, 403–430.

Ma, C.S., Miller, R.H. 2006. MILP Optimal Path Planning For Real-Time Applications. American Control Conference.

Maddula, T., Minai, A.A., Polycarpou, M. M. 2004. Multi-Target assignment and path planning for groups of UAVs. In Recent Developments in Cooperative Control and Optimization, 261-272.

Nikolas, I.K., Valavanis, K.P., Tsourveloudis, N.C., Kostaras A.N. 2003. Evolutıonary Algorithm Based Offline/Online Path Planner For Uav Navigatıon. IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetıcs—Part B, 33(6), 898-912.

Osman, I. H. 1993. Metastrategy simulated anneling and tabu search algorithms for the vehicle routing problem. Annals of Operations Research, 41(4), 421-451.

Özalp, N., Şahingöz, Ö.K., Ayan, U. 2013. Otonom İnsansız Hava Aracı Güzergah Planlaması. 21st Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU).

Özalp, N., Şahingöz, Ö.K., Ayan, U. 2014. 3 Boyutlu Arazi Üzerinde Çoklu Otonom İnsansız Hava Aracı Rota Planlaması. IEEE 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU).

Pakkan, B., Ermiş, M. 2010. İnsansız Hava Araçlarının Genetik Algoritma Yöntemiyle Çoklu Hedeflere Planlanması. Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 4(3), 77-84.

Pehlivanoglu, Y. V., 2012. A new vibrational genetic algorithm enhanced with a Voronoi diagram for path planning of autonomous UAV. Aerospace Science and Technology, 16(1), 47-55.

Pehlivanoğlu, Y.V. 2012. In: Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, Hezarfen Aeronautics and Space Technologies Institue. 5(4), 1-14.

Pettersson, P., Doherty, P. 2006. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 17(4), 395-405.

Prins, C. 2004. A simple and effective evolutionary algorithm for the vehicle routing problem. Computers & Operations Research, 31(12), 1985-2002.

Qi, Z., Shao, Z., Ping, Y. S. Hiot, L. M. ve Leong, Y. K. 2010. An Improved Heuristic Algorithm for UAV Path Planning in 3D Environment. Second International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics, 2, 258- 261.

Rathbun, D., Kragelund, S., Pongqunwattana, A., Capozzi, B. 2002. An evolution based path planning algorithm for autonomous motion of a UAV through uncertain environments. The 21st Digital Avionics Systems Conference, 27-31.

Richards, A., Bellingham, J., Tillerson, M., & How, J. 2002. Coordination and control of multiple UAVs. In AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit, 4588.

Roberge, V., Tarbouchi, M., & Labonté, G. 2013. Comparison of parallel genetic algorithm and particle swarm optimization for real-time UAV path planning. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 9(1), 132-141.

Schouwenaars, T., De Moor, B., Feron,E., How, J. 2001. Mixed integer programming for multi-vehicle path planning. European control conference, 2603-2608.

Storn, R., Price, K. 1997. Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for global Optimization over Continuous Spaces. Journal of Global Optimization 11, 341–359.

Szczerba, R.J., Galkowski, P., Glicktein, I.S., Ternullo, N. 2000. Robust Algorithm For Real-Time Route Planning. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 36(3), 869-878.

Tulum K., Durak U., İder S.K. 2009. Situatıon Aware Uav Mission Route Planning. IEEE Aerospace conference.

Wang, X., Meng, X. 2019. Chinese Control Conference (CCC) Control Conference (CCC), 4101-4106.

Yao, P., Wang, H. 2017. Dynamic Adaptive Ant Lion Optimizer Applied To Route Planning For Unmanned Aerial Vehicle. Soft Comput, 21, 5475–5488.

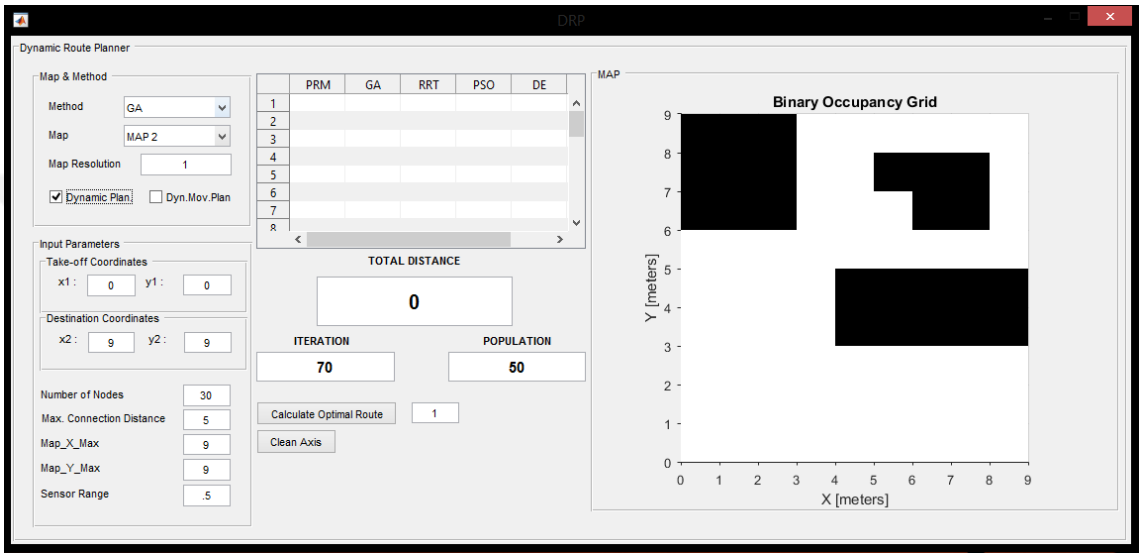
Yao, P., Xie, Z., Ren, P. 2019. Optimal UAV Route Planning for Coverage Search of Stationary Target in River. Ieee Transactıons On Control Systems Technology, 27(2), 822-829.

Yershov D.S., Lavalle S.M. 2011. Simplicial Dijkstra And A* Algorithms For Optimal Feedback Planning. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems 10.1109/IROS.2011.6095032.

Zhang, X., Chen, J., Xin, B., Fank, H. 2011. Online path planning for UAV using an improved differential evolution algorithm. In Proceeding of the 18th. International Federation of Automatic Control IFAC World Congress, 6349-6354.

EK1 MATLAB KULLANICI ARAYÜZ UYGULAMASI

Çalışmada rota planlama uygulamaları MATLAB R2015a programı üzerinde çalıştırılmıştır. Algoritmanın seçimi, harita belirlenmesi, parametrelerin kullanıcı tarafından girilmesi ve rota planlama sonucunun harita üzerinde görüntülenebilmesi için görsel kullanıcı arayüzü tasarımı yapılmıştır.



Şekilde uygulamaların gerçekleştirildiği görsel kullanıcı arayüzü bulunmaktadır. Arayüz 5 bölümden oluşmaktadır. Harita ve metot bölümünde rota planlamada kullanılacak algoritma seçimi ve harita seçimi yapılır. Aynı zamanda haritadaki engellerin davranışı da seçim şeklinde kullanıcıya sunulmuştur. Giriş parametreleri bölümünde seçilen algoritmaya ait gerekli parametrelerin girilmesi gereken alanlar bulunmaktadır. Aracın başlangıç ve hedef koordinatları, rastgele nokta sayısı, noktaların maksium bağlantı mesafesi, X ve Y eksenlerindeki üst sınır değerleri ve sensör radar yarıçapı bilgileri kullanılan yönteme bağlı olarak girilmelidir. Sonuçların tablolandığı bölümde ise uygulama sonucunda her algoritmanın hesapladığı mesafe değeri çıktısı kayıt edilir. Harita bölümünde yöntemin ürettiği rota bilgisine göre koordinatlar çizgisel olarak birleştirilir ve kullanıcının görsel çıktıyı yorumlayabilmesi sağlanır. Diğer bölüm ise kullanıcının kontrol ettiği butonlardır. Bu bölümde rota hesaplama ve harita temizleme butonları bulunmaktadır. Aynı zamanda rota hesaplamanın kaç tekrarla yapılacağı bilgisi de girilebilir.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Burak GÖNÜLTAŞ
Doğum Yeri : ANKARA
Doğum Tarihi : 23.04.1992
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)
Lise : Siirt Atatürk Anadolu Lisesi (2010)
Lisans : Ömer Halisdemir Üniversitesi (2015)
Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı (02.2017 – 10.2020)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl
ASELSAN (2019 - ...)
SÜREÇ SAVUNMA (2018-2019)
MİA TEKNOLOJİ (2017-2018)
Hakemli Dergiler
Yahia ZAKARİA, Burak GÖNÜLTAŞ "Investigation of Analytical Solution for the Radiation Problem", American Journal of Engineering Research (AJER), e-ISSN : 2320-0847 , 2014