

Sürü İnsansız Hava Araçlarının Görev Paylaşımı için Genetik Algoritma Tabanlı Bir Yaklaşım

Ebru KARAKÖSE^{1*}

¹ Havacılık Elektrik ve Elektronik Bölümü, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
¹ eozbay@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 21/11/2021;

Kabul/Accepted: 22/12/2021)

Öz: İnsansız Hava Aracı (İHA) öncelikle savunma ve kamusal alanlarda kullanılmaya başlamış daha sonra kullanım alanları giderek artmıştır. İHA'ların teknolojik gelişimleri ve otonom bir şekilde görevlerini gerçekleştirmeleri açısından büyük önem taşıyan optimizasyon çalışmaları, yapılan bilimsel uygulamalarda önemli bir yere sahiptir. Askeri ve diğer tüm kullanım alanlarında büyük etkileri olan İHA'ların görev planlamalarının, görev icraları sırasında ortaya çıkan yüksek maliyet nedeniyle verimli bir şekilde hazırlanması gerekmektedir. Bu çalışmada, İHA'ların hedeflerine görevlendirilirken farklı koşullara ve parametrelere göre hedef dağılımlarının en uygun şekilde yapılabilmesi için bir inceleme yapılmış ve genetik algoritma kullanılarak çözümler sunulmuştur. Birden çok İHA'nın hedeflere ulaşmak için izleyeceği yol, yoldaki engeller hesaba katılarak seçilmiştir. Aynı zamanda, hedeflerdeki düşman sayısına göre o hedefe kaç İHA'nın görevlendirileceğini belirlemek bu çalışmanın temel amaçlarından birisidir. Hedeflerde bulunan düşman sayısına göre görev dağılımı gerçekleştirilirken İHA'ların hedeflere olan uzaklığı da dikkate alınmıştır. Ek olarak, güzergâhı takip ederken düşmanlar ile karşılaşacak olan İHA'ların harcadıkları enerjinin en aza indirilmesi de hedeflenmiştir.

Anahtar kelimeler: İnsansız Hava Araçları, Sürü İHA, Görev Planlama, Genetik Algoritma.

A Genetic Algorithm-Based Approach for Mission Sharing of Unmanned Aerial Vehicles Swarm

Abstract: Unmanned aerial vehicle (UAV) has started to be used primarily in defense and public areas then their usage areas have gradually increased. Optimization studies, which are of great importance in terms of the technological development of UAVs and their autonomous missions, have an important place in scientific applications. The mission planning of UAVs, which have great effects on military and all other usage fields, must be prepared efficiently due to the high cost incurred during mission execution. In this study, an investigation has been made in order to make optimum target distributions according to different conditions and parameters while the UAVs have been deployed to their targets and solutions have been presented using genetic algorithm. The path that multiple UAVs will follow to reach their targets has been chosen by taking into account the obstacles on the path. At the same time, one of the main purposes of this study is to determine how many UAVs will be deployed to that target according to the number of enemies on the targets. The distance of the UAVs to the targets has been also taken into account while performing the distribution of missions according to the number of enemies on the targets. Moreover, it has been aimed to minimize the energy consumed by the UAVs that will encounter the enemies while following the route.

Key words: Unmanned Aerial Vehicles, Swarm UAV, Mission Planning, Genetic Algorithm.

1. Giriş

İnsansız Hava Aracı (İHA), keşif, gözlem, afet ya da kaza durumlarında arama-kurtarma, hedef takibi, trafik denetimi, lojistik gibi birçok alanda etkin bir biçimde kullanılmaktadır. Uzaktan operatör kontrolü ile ya da otonom olarak hareket ederek görev yapan İHA'lar açısından teknolojilerinin hızla gelişmesine rağmen hala üzerinde durulması ve çalışılması gereken birçok alan bulunmaktadır. İHA'lar ile daha önce yapılması zor, karmaşık veya imkansız olan, hayati risk taşıyan görevler daha az tehlike ve risk ile başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Özellikle uzun süreli ve yorucu görevlerde insan faktöründen kaynaklanan hatalar daha azalmakta ve hayati risk taşıyan görevler sorunsuz bir şekilde yerine getirilmektedir. Farklı özelliklerde, yapılarda ve çeşitlerde olan İHA'lar farklı görevler için kullanılabilir. Sahip oldukları yetenekleri her geçen gün arttırılan İHA'ların buna paralel olarak kullanım alanları da giderek genişlemektedir. Üzerlerine yerleştirilen sensörlerin sayısının ve türünün artmasıyla gerçekleştirdikleri görevler de değişmekte ve artmaktadır. Bir görev ya da görevin farklı aşamaları için bir İHA yerine birden çok İHA'yı aynı anda görevlendirmenin hem görevin başarısı hem de süresi açısından büyük avantajlar sağlayacağı açıktır. Bir İHA kullanarak oluşabilecek olan faydalı yük taşıma, enerji,

* Sorumlu yazar: eozybay@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0003-1191-6375

boyut, süre, performans, kaza ve İHA kaybı ile ilgili sınırlamalar çoklu ya da sürü İHA'ların kullanımı ile önemli ölçüde azalmaktadır [1-4].

Birden fazla İHA'nın bir araya gelerek aynı anda aynı görevi veya aynı görevin farklı kısımlarını yerine getirmesi ile İHA sürüleri oluşturulmaktadır. Sürü İHA uygulamalarında, görev planlamasını, karar verme sürecini ve bu sürecin aşamalarını iyi belirlemek büyük önem arz etmektedir. Ayrıca, bu çok sayıdaki farklı İHA'lar arasındaki etkileşimi, iletişimi ve uyumu sağlamak gerekmektedir. Sürü İHA'lar görevlerini yerine getirirken birbirleri ile iletişimleri sorunsuz gerçekleşirse ve iyi bir koordinasyon sağlanırsa, işbirliği içinde verimli bir görev paylaşımı sunabilirler. Bu nedenle, sürü İHA'larda, görev dağılımı, karar verme mekanizması, yol planlaması, koordinasyon ve bu durumların denetlenebilirliği üzerinde durulması gereken başlıca alanlardır [5-8].

Farklı algoritmaların kullanıldığı sürü İHA uygulamalarına ilişkin literatürde birçok çalışma mevcuttur [9-12]. Brust vd. [13], farklı görevler için kullanılabilir olan İHA sürüleri ile belirli bir uçuş bölgesinde bulunmaması gereken İHA'ların çıkarılması ve uzaklaştırılması için güvenlik sistemi oluşturmuşlardır. Bir simülasyon tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Önerilen yöntem bu simülasyon ile birçok açıdan değerlendirilmiş özellikle iletişim kayıplarının azalması açısından başarılı sonuçlar elde edildiği vurgulanmıştır. Braga vd. [14] sürü İHA'larda birlikte hareket kabiliyetini sağlayabilmek ve gaz sızıntısını tespit etmek için önerilen kontrol algoritması olarak parçacık sürü optimizasyonu algoritmasını kullanmışlardır. Sürü halinde hareketi ve çarpışmayı önlemek için gerekli olan kurallardan bahsedilmiş ve sistem bunlara uygun tasarlanmıştır. Algoritmayı gerçekleştirmek için C++ kullanılmış ve gerçekleştirilen simülasyonda İHA'lar gaz kaçağının olduğu noktaya yönelerek başarı göstermişlerdir.

Ayrıca, literatürde İHA'lar için farklı algoritmalar kullanılarak yol planlaması ve görev dağılımının gerçekleştirildiği çalışmalar da bulunmaktadır [15-20]. Galvez vd. [21] genetik algoritmayı, dört rotorlu bir İHA için belirlenen başlangıç ve varış noktası arasında engellerinde bulunduğu yollar içerisinde en kısa yolu bulma amacıyla kullanmışlardır. Elde edilen simülasyon sonuçları incelendiğinde İHA en iyi yolu bularak engellere takılmadan hedefe varmıştır. Bagherian ve Alos [22], engellerden kaçınmak için üç boyutlu arazi modelini, coğrafi bilgi sistemi ve dijital arazi modeli kullanarak oluşturmuşlardır. Genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonu için Matlab ve C++ kullanılarak algoritmalar gerçekleştirilmiş ve simülasyon sonuçları elde edilerek karşılaştırılmıştır. Engellerin ve düşmanların bulunduğu ortamlarda bir İHA için yol planlamaları yapılarak en uygun çözüm bulunmaya çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre her iki algoritma ile çok iyi sonuçlara varıldığı ancak parçacık sürü optimizasyonunun daha az hesaplama yaptığı ve genetik algoritmanın da daha iyi çözümler sunduğu belirtilmiştir. İlerde daha iyi sonuçlar elde etmek için algoritmaların genişletilebileceğinden ve başka algoritmalar ile birlikte kullanılacaklarından bahsedilmiştir.

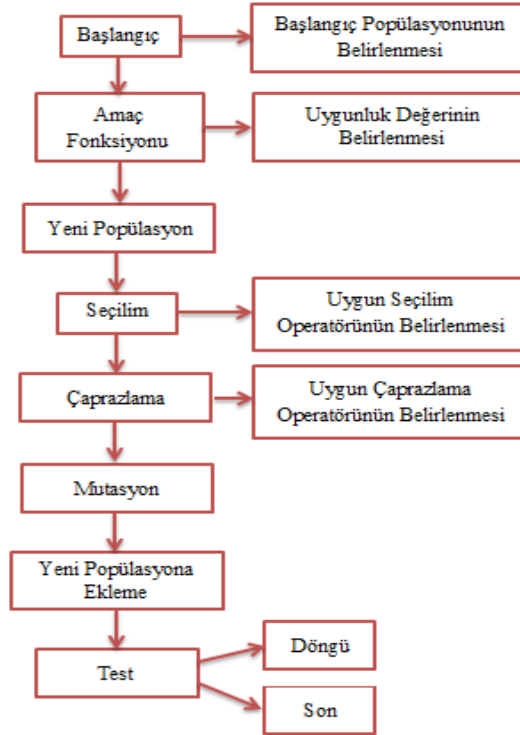
İHA'larda görev planlaması yapılırken belirlenen birden çok hedefe, çok sayıda İHA belirli amaçlar dikkate alınarak dağıtılmaktadır. Her İHA için hedef seçimi yapılırken ortamda bulunan engeller, düşman sayısı, hava koşulları ve çevresel faktörler de göz önüne alınmalıdır.

Bu çalışmada birden çok İHA hedeflere gideceği yolu, yoldaki engelleri hesaba katarak seçeceği gibi aynı zamanda hedeflerin önemini belirten bir etmene göre belirleyecektir. Hedeflerin önemi düşmanlar olarak belirlenmiştir. Hedeflerdeki düşman sayısına göre o hedefe kaç İHA'nın görevlendirileceğini belirlemek bu çalışmanın temel amaçlarından birisidir. Hedeflerde olan düşman sayısına göre görev dağılımı yapılırken İHA'ların hedeflere olan uzaklığı da göz önüne alınmalıdır. Kısacası hedeflerdeki düşmanlarla karşılaşacak İHA grupları seçilirken İHA'ların güzergahı takip etmek için harcadığı enerji en az seviyede olmalıdır. Belirtilen optimizasyon probleminin çözümü için Genetik Algoritma (GA) önerilmiştir. GA, doğadaki evrim sürecinin doğal seçim evresini taklit eden bir optimizasyon yöntemidir. Daha iyi çözümlerin üretilmesi için GA'da amaç fonksiyonun önemi büyüktür. Üretilen yeni sonuçlar uygunluk değerine göre değerlendirilmekte ve bu üretilen yeni çözümlerden daha iyi çözümler üretmek hedeflenmektedir. Amaç fonksiyonu uygulanırken iki faktöre önem verilmiştir. Daha önce de bahsedildiği gibi hedeflerdeki düşman sayısına göre o hedefe atanacak İHA sayısı ve İHA'ların hedeflere olan uzaklığı hesaba katılarak amaç fonksiyonu oluşturulmuştur.

2. Genetik Algoritma (GA)

Optimizasyon, bir sorunu çözmek için var olan çözümlerin iyileştirilmesi, geliştirilmesi ya da daha üstün olanını bulmak için işlemler yapılması olarak ifade edilebilir. GA, 1970'li yıllarda geliştirilen, zorlu ve karmaşık sorunları çözmek amacıyla kullanılan, yapay zeka tekniklerinden faydalanan modern bir optimizasyon algoritmasıdır. Temeli gerçek hayatta canlıların doğal seçim ilkesine ve genetik aşamalarına dayanmaktadır. GA çalışmalarında gen, kromozom ve popülasyon gibi terimler önemli rol oynamaktadır. Dünya üzerindeki bütün canlıların tüm özelliklerini belirleyen moleküle DNA denilmektedir. DNA'nın belirli bir kısmı geni, genlerin birleşimi kromozomları ve kromozomların birleşimi popülasyonları oluşturmaktadır. Adaptasyon problemi

olmayan ve daha güçlü olan bireyler doğal seçim ve en iyinin hayatta kalma prensiplerine daha çok uyarlar. Böylece en iyi ebeveynlerden oluşan popülasyondaki bireylerde daha uyumlu ve kaliteli olurken kötü ve uyumsuz bireyler ise popülasyondan uzaklaştırılmış olurlar. Nesiller ilerledikçe kalitenin artması ve sonunda en iyiye ulaşılması beklenmektedir. En iyilerin hayatta kalma ilkesine dayanan GA'da, doğru kodlanmış bireylerin oluşturduğu popülasyonlar söz konusudur ve bir başlangıç fonksiyonu seçilerek işe başlanır. GA, temel olarak seçim, çaprazlama ve mutasyon adında üç adımdan oluşmaktadır. GA işlem aşamaları Şekil 1'de verilmiştir. Popülasyondaki her bir birey kendisine ait bir çözüm barındırmaktadır ve bu çözüm taşıyan her birey belirli bir amaç (uygunluk) fonksiyonundan geçirilerek puanlandırılmaktadır. Amaç fonksiyonunun GA için önemi büyüktür. Çünkü bu sayede hangi bireyin daha iyi, hangi bireyin daha kötü sonuç taşıdığı belirlenmektedir. Amaç fonksiyonlarının ürettiği değere uygunluk değeri adı verilmektedir [23, 24].



Şekil 1. GA işlem adımları.

2.1. Seçim

Seçim, uygunluk değeri hesaplanan bireylerin belirli bir seçim operatöründen geçirilerek en iyi sonuç veren bireylerin hayatta kalmasına dayanır. Uygunluk değeri yüksek olan bireyler ebeveynler olarak eşleştirilirler böylece yeni neslin bireylerinin hayatta kalma ve ileriki nesilleri oluşturma ihtimalleri artmaktadır. Popülasyondaki bireylerin uygun bir şekilde seçilmesi için çeşitli seçim yöntemleri geliştirilmiştir. Seçim operatörünün büyük öneme sahip olduğu GA'da turnuva, rulet çemberi, sıralı, elitizm, sabit durum seçimi gibi seçim yöntemleri örnek olarak verilebilmektedir. Turnuva seçiminde uygunluk değerleri hesaplanmış bir popülasyondan k adet birey rastgele bir biçimde seçilir ve bu k adet bireylerden en iyi sonuç vermiş olan birey ebeveyn olarak seçilir. Bu işlem bir kez daha tekrarlanarak ikinci bir ebeveyn seçilir. Literatürde k-turnuva seçilimi olarak geçer. Buradaki k parametresi, ebeveyn seçiliminin kaç birey arasında yapılacağını belirler. Rulet tekerleği seçiminde popülasyondaki bireylerin uygunluk değerleri hesaplandıktan sonra tüm bireylerin uygunluk değerlerine göre oranları belirlenir ve bu oran kadar tekerlek üzerinde seçilme olasılıkları vardır. Uygunluk değeri arttıkça kapladıkları alan artmaktadır böylece seçilme olasılıkları da aynı oranda artmaktadır. Elitizm (seçkinlik) seçiminde diğer seçimlerden farklı olarak iyi çözüm veren bireylerin çocuklarının da iyi çözüm barındırma ihtimali yüksek olduğundan bu iyi çözüm veren bireyler hayatta kalarak bir sonraki nesle aktarılmaktadır. Böylece gelecek nesillerde zayıf bireyler yer almazken daha güçlü nesiller elde edilmektedir.

2.2. Çaprazlama

GA'da farklılığı oluşturan en önemli adımlardan biri çaprazlama aşamasıdır. Seçilim yöntemleri yardımıyla belirlenen bireylerden yeni bireyler oluşturmak amacıyla çaprazlama operatörlerinden faydalanılmaktadır. Çaprazlama ile daha önce seçilen uygunluk değeri yüksek olan güçlü bireylerden daha güçlü bireyler elde edilmesi amaçlanmaktadır ancak her zaman oluşan yeni bireyin ebeveyn bireylerden daha güçlü ve uyumlu olma garantisi yoktur. Çaprazlama aşamasında da tek nokta, iki nokta, çok nokta ve tekdüze (uniform) çaprazlama gibi farklı yöntemler bulunmaktadır. Tek nokta çaprazlama ile rastgele belirlenen bir noktadan bireylerin genleri ayrılma ve bireylerden birinde sınırdan önceki diğerinde ise sınırdan sonraki genler kullanılarak yeni birey oluşturulmaktadır. Tek nokta çaprazlama için bir örnek Şekil 2'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} 1. \text{ Birey} &\rightarrow 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \\ 2. \text{ Birey} &\rightarrow 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \\ \text{Yeni Birey} &\rightarrow 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \end{aligned}$$

Şekil 2. Tek nokta çaprazlama.

İki nokta çaprazlamada genler iki noktadan ayrılarak her iki bireyden de belirli miktarda genler alınmakta yeni birey oluşturulmaktadır. Çok nokta çaprazlamada ise ebeveynlerin genleri birçok noktadan ayrılmakta ve karşılıklı değişim ile yeni bireyler oluşturulmaktadır. Tekdüze çaprazlamada her iki bireyden eşit miktarda gen alınarak yeni birey oluşturulmaktadır. Tekdüze çaprazlama için Şekil 3'te bir örnek verilmiştir. Rastgele tekdüze çaprazlama tekdüze çaprazlamanın bir çeşididir, öncelikle birinci bireyden rastgele bir gen alınarak işleme başlanır daha sonra ikinci bireyden rastgele bir gen alınır, belirlenen gen sayısına ulaşıncaya kadar sıra ile her bir bireyden gen alınarak işleme devam edilir ve sonuçta yeni birey oluşturulur.

$$\begin{aligned} 1. \text{ Birey} &\rightarrow 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \\ 2. \text{ Birey} &\rightarrow 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \\ \text{Yeni Birey} &\rightarrow 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \end{aligned}$$

Şekil 3. Tekdüze çaprazlama.

2.3. Mutasyon

Mutasyon aşamasında çaprazlama işleminden sonra oluşan yeni birey belirli bir olasılıkla mutasyon işlemine tabi tutulur. Burada amaç hem ileriki nesillerde benzer bireylerin oluşmasını engelleyerek çeşitlilik oluşturmak hem de arama uzayını genişletip daha detaylı bir arama ile en iyi ve güçlü bireylerin ortaya çıkmasını sağlamaktır. Mutasyon işlemi bireylerdeki genler üzerinde yapılır ve mutasyon oranı kadar gen değiştirilerek sona erdirilir. Şekil 4'te verilen bireyde bitlerden rastgele biri seçilerek mutasyon işlemine tabi tutulmuş ve yeni bir birey oluşması sağlanmıştır [25, 28].

$$\begin{aligned} \text{Yeni Birey} &\rightarrow 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \\ \text{Mutasyon Sonrası Yeni Birey} &\rightarrow 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \end{aligned}$$

Şekil 4. GA'da mutasyon.

3. Materyal ve Yöntem

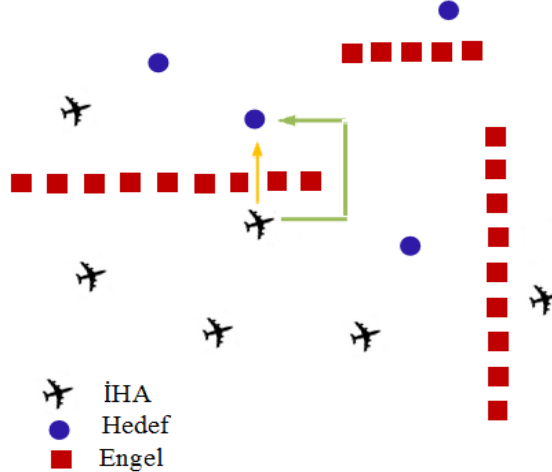
Bu çalışmada, önerilen yöntem için İHA'ların hedeflere olan uzaklığı önemli bir parametredir. İHA'larda görev planlaması yapılırken enerji tasarrufu ve görev süresinin kısalması açısından istenen hedefe en kısa yoldan erişimin sağlanması önem arz etmektedir. Hedeflenen yöntemde, gerekli mesafeleri hesaplamak amacıyla ortamda bulunan engellerin de dikkate alınacağı Dijkstra algoritması kullanılmıştır. Dijkstra algoritması başlangıç pozisyonundan hedef pozisyona olan en kısa yolu bulmak amacıyla kullanılan bir arama yöntemidir. İHA'lar hedeflerine ulaşmak için ilerlerken yolda engellerle karşılaşmaktadır. Dijkstra algoritması İHA açısından en kısa yolu, yolda bulunan bu engelleri dikkate alarak bulmaktadır.

Dijkstra algoritması, bir matematikçi olan Hollandalı Edsger Wybe Dijkstra tarafından geliştirilen, graf teorisine dayanan ve bu graf üzerindeki en kısa yolu bulma amacıyla kullanılan bir algoritmadır. Bir grafi, 2 boyutlu düzlemde ziyaret edilebilecek olan noktaların düğüm (node), düğümler arasındaki yolların kenar (edge) olarak ifade edildiği bir şekil olarak düşünebiliriz. Dijkstra algoritması ile düğümler arasındaki yolların (kenarların) değerleri belirtilir. Başlangıç düğümünden diğer düğümlere olan yolların değerleri belirlendikten sonra diğer düğümler arasında da aynı işlem tekrarlanır ve algoritma bu şekilde devam eder. Bütün değerler hesaplandıktan sonra istenen iki nokta arasındaki en kısa yolu Dijkstra algoritması düğümler arasındaki kenar uzunluklarını dikkate alarak hesaplamaktadır.

Bu çalışmada, öncelikle GA çalıştırılarak üzerine düşeni yapacak daha sonra İHA'ların görev dağılımı yapılacak ve İHA'lar hedeflerine giderken yol olarak Dijkstra algoritmasının bulunduğu güzergahı takip edeceklerdir. İHA'lara belirlenen düzlemlerde engellere takılmadan sorunsuz bir uçuş sağlamak için engellerin bulunduğu noktalar düzlemden çıkarılacaktır.

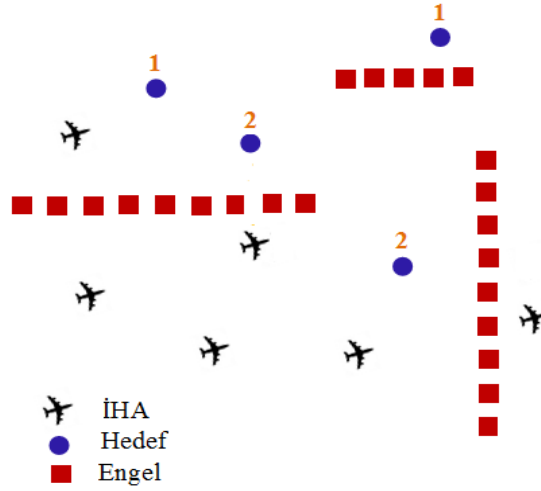
4. Uygulama ve Başarımlar

Bu çalışmada, farklı şekilde konumlandırılmış birden çok İHA'nın düşman koruması altındaki hedeflere olan uzaklıkları temel alınarak en iyi çözümlerle nasıl görevlendirileceği üzerine uygulamalar yapılmıştır. İHA'larda görev dağılımı yapılırken hedeflere olan uzaklıkları dikkate alınmış ve uzayımızda engellerde söz konusu olduğu için bu işlemde öklit bağıntısı kullanmak yerine engellerin de dikkate alındığı Dijkstra algoritması kullanılmıştır. Uzaydaki engellerin kapsama alanındaki çizgiler çıkarılarak geriye kalan çizgilerle bir en kısa yol hesabı yapılmaktadır. Şekil 5'te, İHA görev planlaması için örnek bir uzay gösterilmiştir.



Şekil 5. Bir İHA'nın örnek uzayda izlemesi gereken yol.

İHA'ların, hedeflerin ve engellerin açıkça belirtildiği Şekil 5'de her bir İHA için öklit uzaklığı dikkate alınarak görev ataması yapılacak olursa, belirlenen İHA sarı ile gösterilen yolu tercih edecektir. Ancak örnek uzayda engeller bulunduğundan dolayı belirlenen İHA'nın gösterilen hedefe yeşil ile belirtilen güzergah üzerinden gitmesi gerekmektedir. Bu şekilde öklit bağıntısından farklı olarak yol güzergahı ve uzunluğu değişecek, bu da sonuçları etkileyecektir. İHA'larda görev paylaşımı başarılı bir şekilde yapıldığında İHA'lar görevlendirildikleri hedeflere doğru yol almaya başlayacaklardır. İHA'lar kendi hedeflerine doğru hareket ederken hedeflerde bazı değişiklikler meydana gelebilir. Örneğin bir hedefteki düşman sayısı değişiklik gösterdiğinde veya düşmanlardan biri hedef değiştirmek üzere başka bir hedefi korumaya gittiğinde, bu olay sistem tarafından gözlemlenip İHA'ların o anki yeni pozisyonuna göre GA çalıştırılacak ve yeni bir görev dağılımı yapılacaktır. Tekrar hedeflerdeki düşman sayılarını dengelemek adına farklı hedefler seçilecek ve İHA'lar kaldıkları yerden farklı hedeflere yönelerek hareketlerine devam edeceklerdir. Hedeflerdeki düşman sayısı değişken olduğu için hangi hedefe kaç İHA gideceği hesaplanmalıdır. Örneğin, bir hedefte iki düşman gözlemlenirse, o hedefe en az iki adet İHA görevlendirilmesi planlanmaktadır. Hedefler için belirlenen düşman sayısı, örnek uzay için hedefler üzerindeki rakamlarla Şekil 6'da belirtilmiştir. Tasarlanan sistemde, İHA'lar düşman sayıları önceden bilinen hedeflere öyle dağıtılmalıdır ki hem hedeflerdeki düşman sayısı kadar İHA görevlendirilmeli hem de bu görevlendirilen İHA'ların kat ettiği mesafeler minimum olmalıdır. Bu nedenle, 6 adet İHA, 6 adet düşmanın farklı sayılarda yerleştirildikleri hedeflere, düşman sayılarına göre görevlendirilmişlerdir. Bu sayede, hem enerjiden hem de zamandan tasarruf sağlanması amaçlanmaktadır.



Şekil 6. Örnek uzay için hedeflerdeki düşman sayısı.

Bu çalışmada, bahsedilen optimizasyon problemlerini çözmek amacıyla GA önerilmiştir. Bunun için GA'da bireylerin sahip olduğu kromozom bilgisi dizi şeklinde tutulmuştur.

[0 1 2 2 3 0]

Görüldüğü gibi 6 adet elemanı bulunan dizi, bir bireyin sahip olduğu görev dağılımını içermektedir. Dizinin 0. indisindeki eleman olan 0 değeri, İHA listesindeki ilk İHA'nın 0. indisteki hedefe gitmesi gerektiğini göstermektedir. Listenin 4. indisindeki 3 elemanı ise, İHA listesinde 4. indisteki İHA'nın 3. indisteki hedefe gitmesi gerektiği göstermektedir.

Popülasyondaki herhangi bir bireyin uygunluk değeri, görevlendirilen İHA'ların hedeflere olan uzaklıkları ve hedeflerin İHA ihtiyacı dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Bir birey için bir çözüm oluşturulduktan sonra her İHA'nın görevlendirildiği hedefe olan uzaklığı Dijkstra algoritması ile hesaplanmaktadır. Daha önce bahsedildiği gibi engeller olduğu için İHA'ların hedeflere olan uzaklığının öklit ile hesaplanması iyi bir sonuç vermeyecektir. Bunun yerine Dijkstra algoritmasıyla bulunan en kısa yolun uzunluğu belirlenerek uygunluk değeri hesaplanmıştır.

Uygunluk değeri hesaplanan bireyler arasında elitizm seçilimi uygulanmıştır. Elitizm faktörü olarak %50 ayarlanmış yani popülasyon uygunluk değerine göre sıralanmış ve popülasyonun yarısı popülasyondan çıkarılmıştır. Elitizm seçilimi ile hayatta kalan bireylerden çaprazlama safhasında yeni bireyler elde edilmiş ve çaprazlama safhasında rastgele tekdüze çaprazlama kullanılmıştır.

Sürü İHA görev planlaması için GA'da oluşturulan çaprazlama safhası Şekil 7'de gösterilmiştir. Her bir bireyden rastgele seçilmiş olan genler ile yeni bir birey oluşturulmuştur. Bu birey popülasyona katılmadan önce belirli bir olasılıkla mutasyona uğratılmıştır. Bu problem için GA'da mutasyon olasılığı %5 olarak ayarlanmıştır. Bu kurala göre çaprazlanma sonucu yeni birey oluşturulduktan sonra %5 olasılıkla rastgele bir sayı oluşturulmuş ve şart sağlanırsa bireydeki 6 dizilik çözümün içerisinde herhangi bir gen değiştirilmiştir.

1	3	4	5
0	1	1	2
2	1	0	3
0	0	1	2
0	0	1	2
0	0	1	2
0	0	1	2
0	0	1	2

Şekil 7. İHA görev planlaması için çaprazlama işlemi.

Popülasyondaki iki birey çaprazlandıktan sonra GA'nın son safhası olan mutasyon işlemi yapılmıştır. Bu işlem için Şekil 8'de görüldüğü gibi herhangi bir gen rastgele bir biçimde değiştirilmiştir. Şekil 8'de 1. indisteki 1 verisi, rastgele bir biçimde 3 olarak değiştirilmiştir. Bu şekilde çaprazlama sonucu oluşan bireyden daha farklı sonuç veren bir birey meydana gelmiştir.

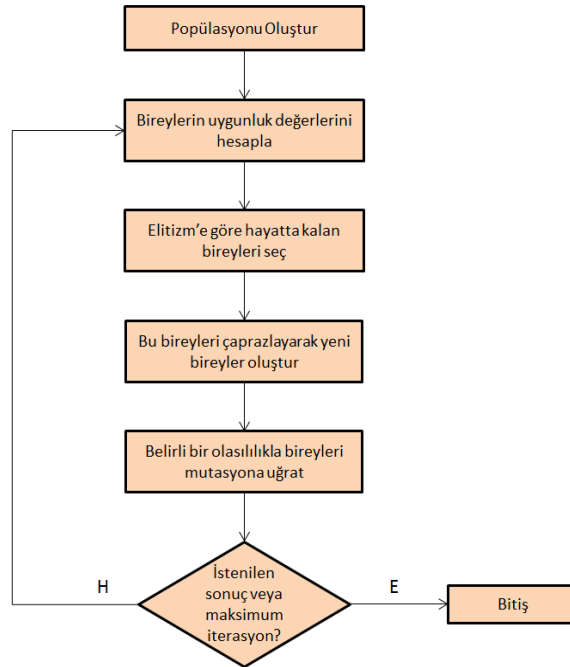
0 1 1 2 3 2
 ↓
 0 3 1 2 3 2

Şekil 8. İHA görev planlaması için mutasyon işlemi.

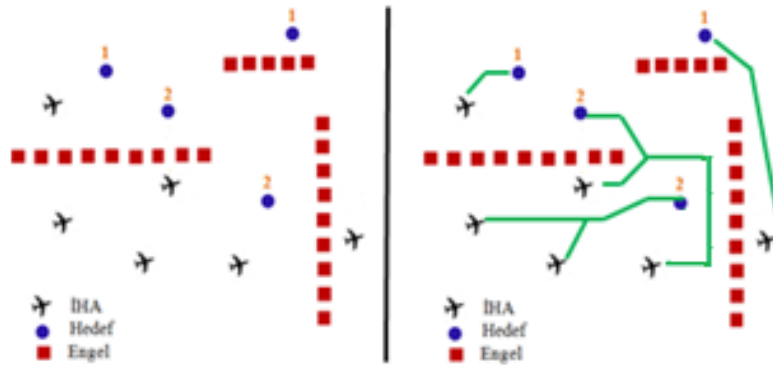
Mutasyon faktörü %10, çaprazlama yöntemi olarak rastgele tekdüze çaprazlama, popülasyon sayısı 10 ve seçilim algoritması olarak ise elitizm yöntemi seçilmiştir. Algoritmanın verilen probleme göre denemesi sonucu bulunan en iyi sonuç aşağıdaki dizide gösterilmiştir. Bulunan en iyi sonuca göre listedeki ilk İHA, listedeki ilk hedefe gidecektir.

[0 1 2 2 3 1]

Görev dağılımları tek bir dizide bu şekilde oluşturulmuştur. GA'nın farklı sonuçlar vermesi açısından daha önce bahsedilen seçilim yöntemleri ve çaprazlama yöntemleri denenmiştir ve en uygun olarak elitizm seçilimi ve tekdüze çaprazlama bulunmuştur. GA için akış diyagramı Şekil 9'da verilmiştir. Tasarlanan yaklaşım için bahsedilen yöntemlerle sistemdeki İHA'lar görevlendirildikten sonra harekete başlayacaktır. GA'nın bulunduğu en iyi sonuç Şekil 10'da gösterilmiştir.

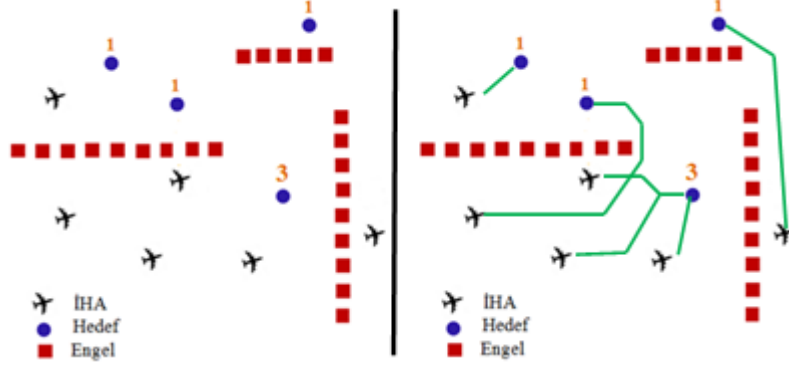


Şekil 9. Sürü İHA görev planlaması için GA'nın akış diyagramı.



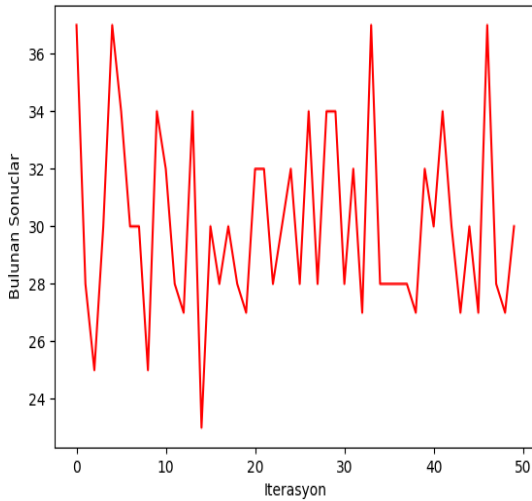
Şekil 10. GA'nın örnek uzay için bulduğu en iyi sonuç.

Düşman sayısı dinamik bir etken olduğu için İHA'lar görevlendirildikleri hedeflere hareket ederken hedeflerdeki düşman sayısı değişiklik gösterebilir. Bu değişiklik gözlemlendiğinde İHA'ların o anki konumları hesaba katılacak ve yeni bir görev dağılımı yapılacaktır. Hedeflerdeki düşman sayısı değişiklik gösterdiğinde yeni oluşacak örnek bir görev dağılımı Şekil 11'de gösterilmiştir.

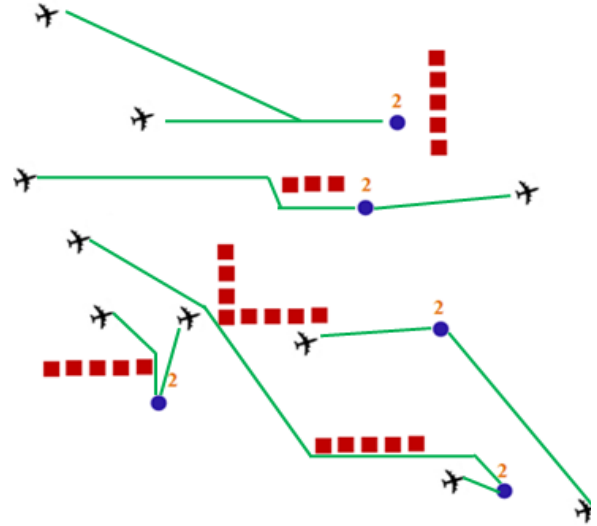


Şekil 11. Düşman sayısı değiştiği zaman oluşan yeni görev dağılımı.

Şekil 11'de görüldüğü üzere GA'nın bulduğu çözümün yeterli bir çözüm olduğu açıkça anlaşılmaktadır. Her bir İHA, mantıklı bir şekilde hedeflere görevlendirilmiş ve her hedefteki düşman sayısına göre İHA'ların dağılımı sağlanarak aynı zamanda uzaklık dağılımları da en aza indirgenmiştir. Şekil 6'daki örnek uzay için en iyi sonuç, Şekil 10'daki gibidir. GA'nın 50 iterasyon sonrası bulduğu en iyi sonuçlar Şekil 12'de gösterilmiştir. Şekil 12'deki grafikte y-eksenindeki değerler GA'nın amaç fonksiyonunun ürettiği uygunluk değerleridir. Şekil 10'daki çözümün uygunluk değeri 37 olarak hesaplanmıştır. Aynı parametrelerle GA, yeni bir senaryo ile 50x50 boyutunda bir uzayda toplam 10 İHA ve 5 hedef için uygulanmıştır. 5 hedefin her birinde 2 tane düşman olacak şekilde kurulan algoritmanın 50 iterasyon sonucunda oluşan görev dağılımı Şekil 13'te verilmiştir.



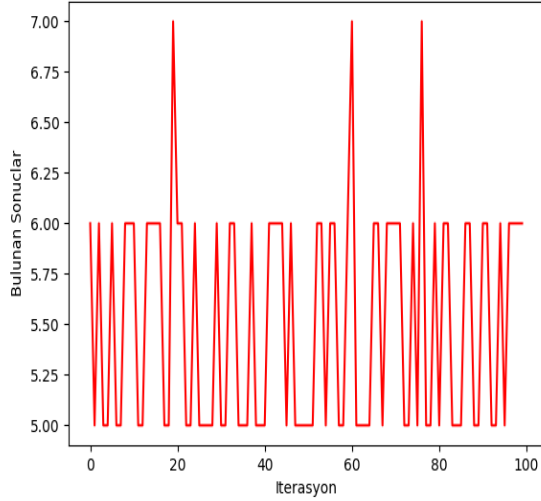
Şekil 12. GA'nın 50 iterasyonda bulduğu en iyi sonuçlar.



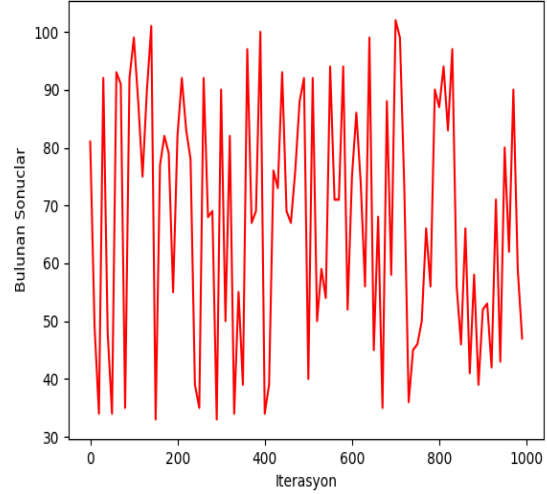
Şekil 13. Farklı bir senaryo için görev dağılımı.

Şekil 13'de verilen senaryo için 100 iterasyonda çalışan GA'nın her bir iterasyonda bulduğu en iyi sonuçlar Şekil 14'te gösterilmiştir. GA aynı parametrelerle daha farklı bir uzayda denenmiştir. Toplam 20 İHA ve 30 hedef bulunan 100x100 boyutunda bir uzayda, 1000 iterasyon sonucu bulunan en iyi sonuçlar Şekil 15'te gösterilmiştir. Uygulanan GA için sürekli artan bir grafikten önce değişken bir grafik olarak Şekil 15'te görülmektedir. Bunun sebeplerinden biri mutasyon faktörünün normalden yüksek bir değer olarak alınmasıdır. Mutasyon faktörü yüksek

tutulursa her oluşturulan yeni bireyin mutasyona uğrama şansı artar ve daha farklı bireyler oluşur. Bu oluşan farklı bireylerin sürekli daha iyi sonuç verme garantisi yoktur.



Şekil 14. 100 iterasyon için bulunan en iyi sonuçlar.



Şekil 15. 1000 iterasyon için bulunan en iyi sonuçlar.

5. Sonuçlar

Bir İHA'nın komuta ve kontrol işlemi gerçekleşirken, aslında birçok farklı teknoloji ve farklı uzmanlık alanı bir arada kullanılmaktadır. Uçuşun nasıl gerçekleştiği ve uçuşu nelerin etkilediği bilinmezse kumandadan ne tür bir bilgi gönderilmesi gerektiğini bilmek de mümkün değildir. Aynı zamanda kumandadan giden bilginin İHA tarafından nasıl algılandığı, yorumlandığı, İHA'nın bu komutlara karşı nasıl tepki verdiği (verdiği tepkilerin nasıl olduğu), farklı ortam ve meteorolojik şartlardan nasıl etkilendiği, pozisyonunu nasıl bulduğu, konum bilgisini nasıl gönderdiği, görevi nasıl icra ettiği gibi soruların hepsi farklı uzmanlık alanlarının konusudur. Her birinde farklı yöntemler ve teknolojik uygulamalar kullanılmaktadır. Tüm bu belirttiğimiz durumlar aslında İHA kullanımının ve kontrolünün ne kadar zor olduğunu göstermektedir. Tek bir İHA'yı kontrol etmek bile bu kadar karmaşıkken sürü İHA kontrolünün ne kadar zor ve karmaşık olacağı yadsınamaz bir gerçektir.

Bu çalışmada, sürü İHA görev dağılımı için genetik algoritma tabanlı bir yaklaşım önerilmiştir. Gerçekleştirilen uygulamada, görev planlaması başarılı bir şekilde yapılmış ve İHA'lar görevlendirildikleri hedeflere yönelmişlerdir. Her bir hedefin uzaklığı, hedeflerdeki düşman sayısı ve örnek uzaylardaki engeller de dikkate alınarak optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. İHA'ların hedeflere olan uzaklığının öklit ile hesaplanmasının iyi sonuç vermeyeceği düşünülmüş, bunun yerine Djisktra algoritmasıyla bulunan en kısa yolun uzunluğu belirlenerek uygunluk değeri hesaplanmıştır. İHA'lar hedeflerine doğru hareket ederken hedeflerde düşman sayısı değişikliği gibi bazı değişiklikler meydana gelmesi durumunda bu olaylar sistem tarafından gözlemlenip İHA'ların o anki bir pozisyonuna göre GA çalıştırılmış ve yeni bir görev dağılımı yapılmıştır. Hedeflerdeki düşman sayısı değiştiğinde, dengeli bir görev dağılımı gerçekleştirmek amacıyla İHA'lar farklı hedeflere yönecek şekilde hesaplamalar yapılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Eaton CM, Chong EKP, Maciejewski AA. Multiple-Scenario Unmanned Aerial System Control: A Systems Engineering Approach and Review of Existing Control Methods. 2016; Aerospace, 3(1): 1-26.
- [2] Zhou X, Wang W, Wang T, Li X, Li Z. A Research Framework on Mission Planning of the UAV Swarm. In: 12th System of Systems Engineering Conference; 18-21 June 2017.
- [3] Weia Y, Blake MB, Madey GR. An Operation-time Simulation Framework for UAV Swarm Configuration and Mission Planning. Procedia Computer Science 2013; 18: 1949-1958.
- [4] Yilmazer M, Karakose E, Karakose M. Multi-Package Delivery Optimization with Drone. International Conference on Data Analytics for Business and Industry; 25-26 October 2021.
- [5] Arnold R, Jablonski J, Abruzzo B. Heterogeneous UAV Multi-Role Swarming Behaviors for Search and Rescue. In: IEEE Conference on Cognitive and Computational Aspects of Situation Management; 24-29 Aug 2020.

- [6] Hong L, Guo H, Liu J, Zhang Y. Toward Swarm Coordination: Topology-Aware Inter-UAV Routing Optimization. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, September 2020; 69(9).
- [7] Li R, Ma H. Research on UAV Swarm Cooperative Reconnaissance and Combat Technology. In: 3rd International Conference on Unmanned Systems (ICUS); 27-28 Nov 2020; pp. 996-999.
- [8] Mian S, Hill J, Mao ZH. Optimal Control Techniques for Heterogeneous UAV Swarms. In: AIAA/IEEE 39th Digital Avionics Systems Conference (DASC); 11-15 Oct. 2020.
- [9] Yang F, Ji X, Yang C, Li J, Li B. Cooperative Search of UAV Swarm Based on Improved Ant Colony Algorithm in Uncertain Environment. In: IEEE International Conference on Unmanned Systems (ICUS), 27-29 Oct. 2017; pp. 231-236.
- [10] Ghamry KA, Kamel MA, Zhang Y. Multiple UAVs in Forest Fire Fighting Mission Using Particle Swarm Optimization. In: International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 13-16 June 2017; Miami, FL, USA: pp.1404-1409.
- [11] Agarwala S, Pape LE, Dagli CH. A Hybrid Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization with Type-2 Fuzzy Sets for Generating Systems of Systems Architectures. *Procedia Computer Science* 2014; 36: 57 – 64.
- [12] Karakose E. Coordination of Multi UAV's Equipped with IoT. In: 7th International Conference on Advanced Technologies; April 28-May 1 2018; Antalya/TURKEY: pp. 169-172.
- [13] Brust MR, Danoy G, Bouvry P, Gashi D, Pathak H, Goncalves M. P. Defending Against Intrusion of Malicious UAVs with Networked UAV Defense Swarms. In: IEEE 42nd Conference on Local Computer Networks Workshops (LCN Workshops); 9-9 Oct. 2017, pp. 103-111.
- [14] Braga RG, Silva RC, Ramos ACB, Mora-Camino F. UAV Swarm Control Strategies: a Case Study for Leak Detection. In: Proceedings of the 18th International Conference on Advanced Robotics (ICAR), July 2017; Hong Kong China: pp. 173-178.
- [15] Zhang X, Chen J, Xin B, Fang H. Online Path Planning for UAV Using an Improved Differential Evolution Algorithm. *IFAC Proceedings Volumes* January 2011; 44(1): 6349-6354.
- [16] Roberge V, Tarbouchi M, Labonte G. Comparison of Parallel Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization for Real-Time UAV Path Planning. *IEEE Transactions on Industrial Informatics* February 2013; 9(1).
- [17] Liu J, Wang W, Wang T, Shu Z, Li X. A Motif-Based Rescue Mission Planning Method for UAV Swarms Using an Improved PICEA. *IEEE Access* 2018; 6: 40778 - 40791.
- [18] Karakose E. A Comparative Study For Cooperative Mission Planning Of UAV Swarm. In: 5th International Conference on Advanced Technology & Sciences (ICAT'17); 09-12 May 2017; İstanbul, Türkiye: pp. 540-544.
- [19] Karakose E. A Cooperative Mission Planning of UAV Swarms Based on Fuzzy Decision Making. In: The 5th International Fuzzy Systems, Symposium (FUZZYSS'17); Abstract, 14-15 October 2017; Ankara, Turkey: pp. 44.
- [20] Cardoso A, Barreto C, Lamounier E, Andrade I, Yamanaka K, Miranda M. Technique for the Visualization of Information for Refueling a Swarm of UAVs Using Genetic Algorithms in a Virtual Environment. *International Journal of Systems Applications, Engineering & Development* 2017; 11: 191-194.
- [21] Galvez RL, Dadios EP, Bandala AA. Path Planning for Quadrotor UAV Using Genetic Algorithm. In: 7th IEEE International Conference Humanoid, Nanotechnology, Information Technology Communication and Control, Environment and Management (HNICEM) (IEEE); 12-16 Nov. 2014; Palawan, Philippines.
- [22] Bagherian M, Alos A. 3D UAV trajectory planning using evolutionary algorithms: A comparison study. *The Aeronautical Journal* 2016; 119(1220).
- [23] Holland JH. Genetic Algorithms, *Scientific American* 1992; 267(1): 66-73.
- [24] Sriniva M, Patnaik LM. Genetic algorithms: a survey. *Computer* June 1994, 27(6).
- [25] Roberge V, Tarbouchi M, Labonte G. Fast Genetic Algorithm Path Planner for Fixed-Wing Military UAV Using GPU. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems* October 2018; 54(5): 2105-2117.
- [26] Yang T, Hu Y, Yuan X, Mathar R. Genetic Algorithm based UAV Trajectory Design in Wireless Power Transfer Systems. *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*; 2019; Marrakesh, Morocco.
- [27] Altundogan TG, Yildiz A, Karakose E. Genetic Algorithm Approach based on Graph Theory for Location Optimization of Electric Vehicle Charging Stations. 2021 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU); 6-8 Oct. 2021; Elazig, Turkey.
- [28] Wu X, Yin Y, Xu L, Wu X, Meng F, Zhen R. Multi-UAV Task Allocation Based on Improved Genetic Algorithm. *IEEE Access* 2021; 9: 100369-100379.