



## Karasal, Hava ve Uzay Tabanlı Haberleşme Sistemleri Arasındaki Girişimin Minimizasyonu İçin Optimizasyon Yaklaşımı

### Optimization Approach to the Minimization of Interference Between Terrestrial, Air and Space Based Communication Systems

Cihan Aydın<sup>1</sup>, Tayfun Günel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bilişim Enstitüsü  
Uydu Haberleşme ve Uzaktan Algılama Programı  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
cihanaydin@itu.edu.tr

<sup>2</sup>Elektrik Elektronik Fakültesi  
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
gunelmur@itu.edu.tr

#### Özet

Haberleşme sistemleri için girişim oldukça önemli bir problemdir. Kısıtlı spektrum nedeniyle frekans bandının paylaşımı neticesinde kaçınılmaz olarak arzu edilmeyen parazit güç ortaya çıkmaktadır. Sistemlerin bu problemi aşarak, haberleşmeyi başarılı olarak sürdürebilmesi için girişimin oldukça düşük seviyelerde tutulması gerekmektedir. Bu nedenle teorik ve deneysel çalışmalar yapılarak çeşitli yöntemler geliştirilmektedir.

Bu çalışmada, aynı frekans bandında yayın yapan hava, kara ve uydu tabanlı haberleşme sistemlerinin birbirlerine yapmış olduğu girişimin en aza indirgenmesi ele alınmıştır. Çözüm yöntemi olarak girişim problemindeki parametreler için optimum değerlerin elde edilebilmesi amacıyla Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ve Sürekli Genetik Algoritma (SGA) yöntemleri kullanılarak eniyileme işlemi gerçekleştirilmiştir. Seçilen optimizasyon yöntemleri ile başarılı sonuçların elde edilebilir olduğu görülmüştür.

#### Abstract

For the operation of any radio system, interference is an important problem. As a result of the sharing of frequency bands due to the limited spectrum, undesirable interference power inevitably arises. The level of the unwanted or interfering signals must be taken into account and must be kept very low levels. Therefore, the theoretical and experimental studies have been performed and a variety of approaches have been improved.

*In this study, the minimization of the interference between aeronautical, terrestrial and satellite systems that operate in the same frequency band is examined. In order to achieve the optimum values for the parameters in the interference problems, Particle Swarm Optimization (PSO) and Continuous Genetic Algorithm (CGA) was used as the optimization methods. Successful results are obtained by PSO and CGA.*

#### 1. Giriş

Mevcut haberleşme sistemleri ve yeni geliştirilen sistemler için, spektrumun kısıtlı bir kaynak olması nedeniyle çeşitli hizmetlere tahsis edilen frekans bandlarının ortak kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak bu durum sistemler arasında band içi girişim yaşanmasına neden olmaktadır. Sağlıklı iletişimin sağlanabilmesi adına bu istenmeyen işaret iletiminin kabul edilebilir seviyede tutulması haberleşme için oldukça önemli bir problemdir.

Bu makalede, çok boyutlu problemleri için kesin çözüme yakın optimum çözümler sunmaları nedeniyle, literatürde bilinen yöntemlerle hesaplanan girişim formüllerinde yer alan değişkenlerin, minimizasyonunu gerçekleştirebilmek adına, ideal değerlere yakınsaması için PSO ve SGA yöntemleri tercih edilmiştir. Detaylı incelemenin ardından algoritmalar kullanılarak yapılan hesaplamalarla girişim için eniyilemenin elde edilebilirliği araştırılmıştır. Algoritmaların sahip oldukları avantajlar tecrübe edilmiş ve seçilen girişim senaryolarında uygulanmıştır. Girişim formülündeki parametrelerin sahip

olacağı mümkün olan optimum değerlere algoritmalar kullanılarak ulaşılmaya çalışılmıştır.

## 2. Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Sürekli Genetik Algoritma

Eniyileme anlamına gelen optimizasyon, bir problemde belirli koşullar altında mümkün olan en uygun çözümün elde edilmesidir. Bunun için birçok algoritma oluşturulmuştur. Bu bölümde daha sonra girişim problemlerinde kullanılacak olan, doğadan esinlenerek gerçekleştirilmiş sezgisel algoritmalarından PSO ve SGA temel prensipleriyle açıklanmaktadır.

PSO, sosyal sistemin basitleştirilmiş bir simülasyonunun gerçekleştirilmesi için sürülerinin davranışı gözlenmesiyle ortaya çıkmıştır. Grafıksel simülasyondan sonra neticede parçacık sürü modelinin bir optimizasyon yöntemi olarak kullanılabilmesi keşfedilmiştir. Sürülerin yaklaşımı, bir probleme çözüm aramaya benzetilmiştir. Temel olarak sürü zekasına dayanan algoritma, üç adımdan oluşmaktadır. İlk adımda parçacıkların konumları ve hızları tanımlanmakta, ikinci adımda hızları güncellenmekte ve son adımda da parçacıkların yeni konumlarına ulaşılmaktadır.

Bir parçacığın yeni hız değeri, bir önceki hız değeri, kendi tecrübesi (pbest) ve diğer parçacıkların tecrübesi (gbest) ile elde edilir. Burada amaç, sürünün en iyi pozisyona sahip olan bireye yaklaşarak optimum çözüme ulaşmaktır.

SGA ise şartlara en uygun olanın hayatta kaldığı doğal seleksiyon kuramına dayanan stokastik bir optimizasyon yöntemidir. Bu teknikte genetik biliminin eşleşme, çaprazlama ve mutasyon gibi prensipleri kullanılarak, seleksiyon ve popülasyon ile eniyileme işlemi gerçekleştirilmeye çalışılır.

SGA'nın uygulanacağı matematiksel fonksiyonda yer alan değişkenler genleri oluştururken, bu değişken değerlerinin meydana getirdiği diziler ise kromozomlara (bireylere) karşılık gelmektedir. Olası çözümler belirli sayıda birey içeren bir popülasyon oluşturacak kromozomlara eşdeğer şekilde kodlanmaktadır.

Algoritma, değişkenlerden oluşan kromozomların tanımlanmasıyla başlatılır. Fonksiyonun optimizasyonu gerçekleştirilecek N adet değişkeni bulunuyorsa, popülasyondaki her kromozom N adet elemandan oluşan bir dizi olarak ele alınır. Nesil olarak adlandırılan iterasyonlarda, her bir kromozom için fonksiyon maliyet değeri hesaplanır - +algoritma bu değeri minimum yapmayı hedefler- sıralama yapılır, maliyet değerine göre yeni nesilleri oluşturacak en iyi kromozomların seçimi gerçekleştirilir, eşleştirme sonrasında çaprazlama ve mutasyon işlemleriyle yeni kromozomlar (bireyler) oluşturulur. Amaç fonksiyonunu geniş bir spektrumda arandı; problemlere tek bir çözüm üretmek yerine farklı çözümlerden oluşan bir çözüm kümesi bulur. Böylelikle, arama uzayında aynı anda birçok nokta değerlendirilmekte ve sonuçta bütünsel çözüme ulaşma olasılığı yükselmektedir [1]. Yeni nesil oluşumu sonlandırma kriteri sağlanana kadar devam ettirilir. Genel olarak bu döngü başlangıçta karar verilen iterasyon sayısı ile sonlandırılır ve popülasyondaki en uygun maliyetli kromozom ele alınır.

## 3. Girişimin Minimizasyonu ve Örnekler

Kısıtlı bir kaynak olan frekans spektrumunun verimli olarak kullanılması için kapasiteyi arttırabilmek adına, frekans bantları birden fazla servise tahsis edilebilmektedir. Ancak bu ortak kullanım, aynı frekans bandında servis sağlayan sistemler arasında istenmeyen sinyal girişimine yol açmaktadır. Bu nedenle, karşılaşılan girişimin azaltılması oldukça önemli bir sorun haline gelmiştir.

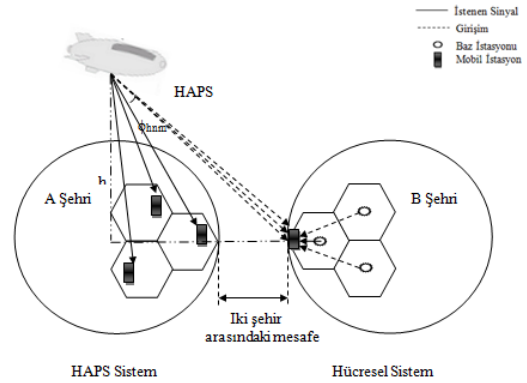
Bu çalışmada karasal, hava ve uzay tabanlı haberleşme sistemleri arasındaki istenmeyen sinyal iletim senaryoları ayrı ayrı ele alınarak, girişimin minimizasyonu için PSO ve SGA optimizasyonu ile eniyileme gerçekleştirilecektir [2].

### 3.1 Yüksek İrtifa Platformları (HAPs) ile Hücresel Sistemler Arasındaki Girişim

Hücresel haberleşme teknolojisine alternatif çözüm sunan ve spektrumun daha etkin kullanımına olanak sağlayan Yüksek İrtifa Platformları (HAP) geliştirilmiştir. HAP sistemleri, IMT-2000'in karasal bileşenleriyle, 20-50 km yükseklikte stratosferde baz istasyonu olarak yeni nesil haberleşme sistemleri için servis vermektedir ve aynı frekans bandını paylaşımından kaynaklı, hücresel IMT-2000 sistemleri ile HAP sistemi arasında girişim meydana gelmektedir.

Bu bölümde, HAP IMT-2000 sisteminin yeryüzü hücresel IMT-2000 sistemine yapmış olduğu girişim ilgili referanslar takip edilerek Şekil 1'deki gibi iki kısımda ele alınacaktır [3]:

- Hücresel sistemdeki komşu hücrelerden kaynaklanan girişim
- HAPS IMT-2000 sisteminden kaynaklanan girişim



Şekil 1: HAPS sisteminden hücresel mobil istasyona olan girişim.

Denklem (1)'de komşu hücrelerin neden olduğu girişim ve HAP'ın neden olduğu girişim dikkate alınmaktadır.

$$I = I_{\text{hücresel}} + I_{\text{HAPS}} = \sum_{n=1}^N \left\{ \frac{\alpha_n M_n I_n}{3} S_n 10^{\frac{G_n}{10}} \left[ \sum_{m=1}^{c_{in}} d_{inm}^{-4} \right] + \alpha_h M_h I_h S_h d_h^{-2} \left[ \sum_{m=1}^{c_{hm}} 10^{\frac{G_{hm}(\phi_{hmm})}{10}} \right] \right\} \quad (1)$$

Denklem (2)'de hücresele sisteme ait güç formülü bulunmaktadır.

$$P(r_j) = \begin{cases} \left(\frac{r_{i0}}{R_i}\right)^4 S_i 10^{\frac{G_i}{10}} & 0 < r_j \leq r_{i0} \\ \left(\frac{r_j}{R_i}\right)^4 S_i 10^{\frac{G_i}{10}} & r_{i0} < r_j \leq R_i \end{cases} \quad (2)$$

Denklem (1) ve (2) kullanılarak, girişime maruz kalan mobil istasyon için denklem (3)'de verilen taşıyıcı-girişim oranına (C/I) erişilmektedir.

$$C/I = \frac{P(r_j) \times R_i^{-4}}{I} \quad (3)$$

Denklem (3)'de verilen taşıyıcı-girişim oranı, algoritmaların uygulanacağı amaç fonksiyonunda yer alacaktır. En az girişime neden olacak şekilde frekans (f), HAP'ın irtifası (H), HAP'ın hücre kenarında yer alan kullanıcıya doğru yarattığı güç ( $S_h$ ), HAP ve hücresele sistemde her hücredeki mevcut kullanıcı sayısı ( $M_i$  &  $M_h$ ) için en uygun değerler araştırılacaktır.

Bu çalışmada algoritma ayarlaması, taşıyıcı-girişim oranına ait fonksiyonun (C/I) her iterasyondaki parçacık ve kromozom için çıkan maliyet değerinin ideal değerinden çıkarılmasıyla gerçekleştirilecektir.

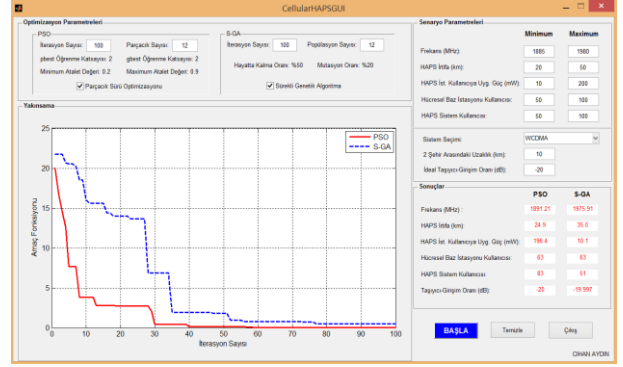
$$\text{Amaç Fonksiyonu} = |(C/I)_{\text{ideal}} - (C/I)| \quad (4)$$

Eniyilemenin gerçekleştirileceği parametrelerin Çizelge 1'de belirtilen maksimum ve minimum sınır değerleri arasında sonuç vermesi şartıyla algoritma tanımlanan iterasyon sayısına ulaşıldığında sonlandırılacaktır.

Çizelge 1: PSO ve SGA yöntemi kullanıldığında değişkenlere ait değerler ve elde edilen sonuçlar.

Parametre	Parametrelerin Değer Aralıkları	Sonuç PSO	Sonuç SGA
P	iterasyon sayısı	100	
S	Parçacık Sayısı	12	
O	$c_1, c_2$	2	
	$V_{\max}$	$0.8 * (X_{\max} - X_{\min}) * 0.5$	
	w	$0.4 < w < 0.9$	
	İterasyon Sayısı	100	
	Başlangıç Popülasyonu	12	
S	Doğal Seçim oranı	%50	
G	Eşleşecek kromozom	6	
A	Mutasyon Oranı	%20	
	(C/I) <sub>ideal</sub> (dB)	-20	-19.997
G	H (km)	$20 < H < 50$	24.9 / 35.6
İ	$M_i$ (kişi)	$50 < M_i < 100$	63 / 63
R	$M_h$ (kişi)	$50 < M_h < 100$	83 / 51
İ	$S_h$ (mW)	$10 < S_h < 200$	196.4 / 10.1
Ş	f (MHz)	$1885 \times 10^6 < f < 1980 \times 10^6$	$1891.21 \times 10^6$ / $1975.91 \times 10^6$

Şekil 2'de görüldüğü üzere, sürü mantığına uygun olarak parçacıkların global çözümün etrafında toplanma davranışı gözlenmiş ve HAP sistemin hücresele mobil istasyona yaptığı girişimi en aza indireyecek olan optimum değerlerine erişilmiştir.



Şekil 2: Yüksek irtifa platformu ve hücresele sistem arasındaki girişim senaryosunun PSO (düz çizgi) ve SGA (kesikli çizgi) yöntemi kullanılarak minimizasyonu.

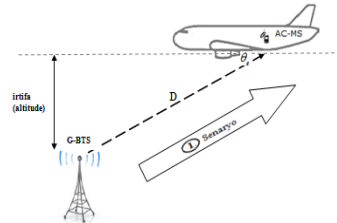
### 3.2 Uçak Kabin İçi Ağ ile Karasal Hücresele Ağ Arasındaki Girişimin Minimizasyonu

Günümüzde birçok ülkede hava yolu şirketleri, uçuş esnasında ses/veri iletimi sağlayan teknolojik aletlerin kullanılabilmesine imkân sağlamaktadır. Bu doğrultuda, kapsama ve kapasite planlaması için kabin içi gerekli ölçümler yapılmaktadır. Bu ölçümlerin yanı sıra, karasal hücresele ağlar ile uçak içerisindeki mobil istasyon ya da baz istasyonunun aralarında yapmış olduğu girişimi belirlemek için zayıflama (atenüasyon) hesaplamalarının yapılmasına ve girişim limitlerinin belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu bölümde, ilgili makale ve ITU Recommendation takip edilerek uçakta yer alan mobil hücresele sistem ile karasal hücresele sistem arasındaki Şekil 3 ve Şekil 4'de gösterilen girişim ele alınacaktır [4] [5]. Mümkün olan minimum değerde girişimin oluşmasını sağlamak amacıyla, PSO ve SGA yöntemleri uygulanarak optimum değerler elde edilmeye çalışılacaktır.

#### 3.2.1 Yer baz istasyonun (G-BTS) uçaktaki mobil istasyona (AC-MS) yapmış olduğu girişim

Karasal sisteme ait baz istasyonu uçakta yer alan mobil istasyona doğru Şekil 3'de gösterildiği üzere girişime neden olmaktadır. Yer baz istasyonu tarafından AC-MS'in maruz kaldığı istenmeyen sinyal gücü ile mobil istasyona ait hassasiyet değerinin kıyaslanması, bu senaryonun kriteri olarak ele alınır.



Şekil 3: Senaryo 1 girişim modeli.

Girişim modelinde karşılaşılan AC-MS'de oluşan istenmeyen sinyal gücünün değeri denklem (5) ile elde edilmektedir.

$$P_{r_{ac-MS}} = P_{g-BTS} + G_{g-BTS} - L_{fg} - L_{ac} + G_{ac-MS} \quad (5)$$

$L_{fs}$  olarak ifade edilen serbest uzay yayılım modeli, uçak ile yer ağı arasındaki kaybı ifade etmektedir. Uçağın irtifası, yükseklik açısı ve frekans kullanılarak (6) denklemi ile bu kayıp hesaplanır.

$$L_{fs} = 92,4 + 20 \log \left( \frac{\text{irtifa}}{\sin(\theta_e)} \right) + 20 \log f \quad (6)$$

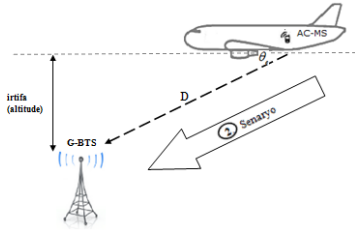
$L_{ac}$  sabitinin karşılık gelen değerine referans kaynaktan ulaşılır [4]. Uçak içerisindeki mobil istasyonun isotropik anten kullandığı kabul edilerek, anten kazancı  $G_{ac-MS}$  0 dBi alınır.  $P_{g-BTS}$  ise 1800 MHz için 43(dB/200kHz), 2100MHz için 33(dB/200kHz) olarak hesaba dahil edilir.

Amaç fonksiyonunu oluşturacak  $M$  (marjin), AC-MS'in hassasiyeti ( $S_r$ ) dikkate alınarak (7) denklemi ile bulunur.

$$M = S_r - P_{r,ac-ms} \quad (7)$$

### 3.2.2 Uçaktaki mobil istasyonun (AC-MS) yer baz istasyonuna (G-BTS) yapmış olduğu girişim

Uçaktaki mobil istasyon tarafından G-BTS'in maruz kaldığı istenmeyen sinyal gücü ile yer baz istasyonuna ait hassasiyet değerinin kıyaslanması bu senaryonun kriterini oluşturmaktadır.



Şekil 4: Senaryo 2 girişim modeli.

Girişim modelinde karşılaşılan G-BTS'de oluşan istenmeyen sinyal güç değeri (8) denklemi kullanılarak elde edilmektedir.

$$P_{r,G-BTS} = P_{ac-MS} + G_{ac-MS} - L_{fs} - L_{ac} + G_{g-BTS} \quad (8)$$

Denklemden yer alan  $G_{ac-MS}$ , isotropik anten kullandığı kabul edilerek 0 dBi alınır.  $P_{ac-MS}$ ,  $G_{g-BTS}$  sabitlerinin değerlerine referans alınan makaleden ulaşılmıştır [5].

Çizelge 2: Girişim formülünde kullanılacak olan parametrelere ait değerler\*

Frekans (MHz)	$P_{ac-MS}$ (dB/200kHz)	$G_{g-BTS}$ (dB)
1800	30	15.5
2100	21	18

Optimizasyon adımında amaç fonksiyonunu oluşturacak  $M$  (marjin) değerine (9) denklemi ile erişilir.

$$M = S_r - P_{r,G-BTS} \quad (9)$$

Baz istasyonu hassasiyeti ( $S_r$ ) için, ECC Report 93'e göre standard olarak kabul edilen UMTS2100 için -121 dBm/channel değerleri alınarak hesaplamalar gerçekleştirilir.

Algoritmaların uyarlanacağı Senaryo 1 ve Senaryo 2 deki değişkenlerin minimum değerlerine doğru yakınsamasını engellemek adına önceki uygulamadaki benzer yaklaşım sürdürülür; ideal marjinden, hesaplamalar sonucu her iterasyonda elde edilen marjin çıkarılır.

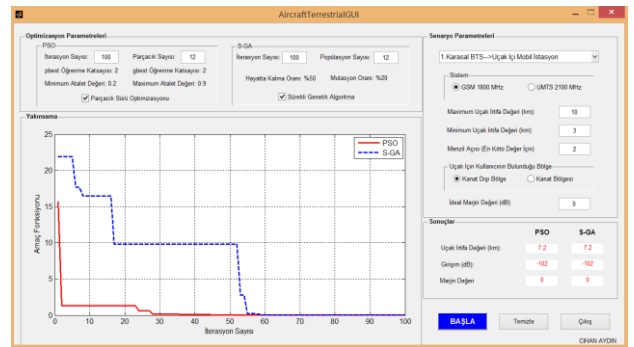
$$\text{Amaç Fonksiyonu} = |M_{ideal} - M| \quad (10)$$

İrtifa parçacığının, Çizelge 3'de belirtilen maksimum ve minimum sınır değeri arasında sonuç vermesi şartıyla algoritma sonlandırma kriteri olan iterasyon sayısına ulaşıldığında durdurulur.

Çizelge 3: PSO ve SGA yöntemi kullanıldığında değişkenlere ait değerler ve elde edilen sonuçlar.

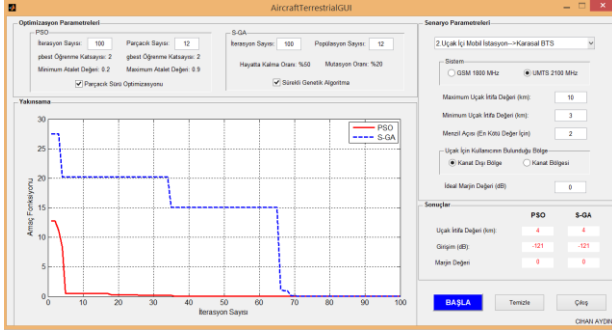
Parametre	Parametrelerin Değer Aralıkları	Sonuç Senaryo1	Sonuç Senaryo2
P	iterasyon sayısı	100	
S	Parçacık Sayısı	12	
O	$c_1, c_2$	2	
	$V_{max}$	$0.8 * (X_{max} - X_{min}) * 0.5$	
	w	$0.4 < w < 0.9$	
	İterasyon Sayısı	100	
	Başlangıç		
S	Popülasyonu	12	
G	Doğal Seçim oranı	% 50	
A	Eşleşecek kromozom	6	
	Mutasyon Oranı	% 20	
	$M_{istenilen}$ (dB)	-0	-0
G	$N_{Termal}$ (dB)	Frekans bandına göre değişir	
İ	$S_r$ (dB)	Frekans bandına göre değişir	
Ş	irtifa (km)	$3 < irtifa < 10$	7.2
İ	$\theta_e$ (derece)	$2^\circ$ ya da $90^\circ$	2

Şekil 5 ve Şekil 6'da görüldüğü üzere, parametrelerin arayüz ile değiştirilebilmesine olanak sağlanarak oluşturulan şartlar altında başarılı iletişim sürdürülebilmesi için optimum irtifa değerine erişilir.



Şekil 5: Uçak kabin içi ağ ile karasal hücresele ağ arasındaki girişim senaryosu 1'in PSO (düz çizgi) ve SGA (kesikli çizgi) yöntemi kullanılarak minimizasyonu.

Senaryo 1 ve Senaryo 2 girişim modelleri için, ideal girişim değerine yakınsamayı hedefleyerek algoritmanın uygun sonuçlara ulaştığı görülür.



Şekil 6: Uçak kabin içi ağ ile karasal hücrese ağ arasındaki girişim senaryosu 2'nin PSO (düz çizgi) ve SGA (kesikli çizgi) yöntemi kullanılarak minimizasyonu.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, literatürden seçilen girişim senaryoları için MATLAB kullanılarak yazılan program ile girişimin istenilen değerlere yakınsaması sağlanmıştır.

Değişik haberleşme senaryolarında girişimin minimizasyonu için önceki çalışmalarda kullanımına rastlanılmayan PSO ve SGA'nın hızlı ve yeterli sonuçlar verdiği görülmüştür.

Her iki algoritma da yakınsama özelliğine sahiptir ve kesin çözümü garanti etmeyerek kesin çözümün yakınlarında bir çözümü garanti etmektedir. Çok boyutlu optimizasyon problemleri için makul sürede kesin çözüme yakın optimum çözümler sunmaları nedeniyle, bu algoritmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Seçilen algoritmaların istenilen ideal değerlere yakınsayarak başarılı sonuçlara ulaşılması neticesinde girişim senaryolarında eniyileme methodu olarak kullanılabilir oldukları sonucuna ulaşılmıştır.

PSO ve SGA yöntemlerinin karşılaştırılması adına algoritmalar 100 defa aynı şartlar altında çalıştırılarak değerlendirilmiştir. PSO'nun işlem yükünün daha az olduğu, global çözüme kolayca ulaştığı; daha hızlı yakınsama yaptığı ve performans açısından daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

#### 5. Kaynaklar

- [1] Pakkan, B. ve Ermiş, M., "İnsansız Hava Araçlarının Genetik Algoritma Yöntemiyle Çoklu Hedeflere Planlanması", *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 4, 3, 77-84, 2010.
- [2] Aydın, C., "Karasal, Hava ve Uzay Tabanlı Haberleşme Sistemleri Arasındaki Girişimin Minimizasyonu", *Yüksek Lisans Tezi*, Bilişim Enstitüsü, İTÜ, 2014.
- [3] Ku, B. J. ve Ahn, D., "An Evaluation of Interference Mitigation Schemes for HAPS Systems", *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2008.

- [4] Moraitis, N. ve Panagopoulos, A. D., "Aircraft Attenuation Measurements and Radio Interference Scenarios Between In-Cabin and Terrestrial Cellular Networks", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 47, 4, 3051-3061, 2010.
- [5] ITU, Reference Radiation Patterns of Omnidirectional, Sectoral and Other Antennas in Point-to-Multipoint Systems For Use in Sharing Studies in The Frequency Range From 1 Ghz to About 70 Ghz, Recommendation ITU-R F.1336-3, Geneva, 2012.