

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BÖLGESEL HAVA SAVUNMA İÇİN ÇOK AMAÇLI
KONUŞLANMA MODELİ**

ZEYNEP ÖZDEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

2019

**BÖLGESEL HAVA SAVUNMA İÇİN ÇOK AMAÇLI
KONUŞLANMA MODELİ**

**MULTI-OBJECTIVE DEPLOYMENT MODEL FOR
REGIONAL AIR DEFENSE**

ZEYNEP ÖZDEMİR

Başkent Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
ENDÜSTRİ Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

2019

“Bölgesel Hava Savunma İçin Çok Amaçlı Konuşlanma Modeli” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından, 12/09/2019 tarihinde, **ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Mehmet KABAK.....

Üye (Danışman) : Doç. Dr. Yusuf Tansel İÇ.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Esra DİNLER

ONAY

.../.../.....

Prof. Dr. Ömer Faruk ELALDI
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEŐEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında değerli fikir ve önerileriyle bana yol gösteren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Yusuf Tansel İ'e, katkıları ile tezimin olgunlaőmasında teknik anlamda desteğini esirgemeyen yöneticim Dr. Mehmet Sinan HASANOĞLU'na içtenlikle teőekkür ederim.

Bu tezin hazırlanmasında sağladığı kaynaklar için çalıőmakta olduğum kurumum TÜBİTAK SAGE'ye teőekkür ederim.

Ayrıca hayatımın her döneminde hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan sevgili aileme ve eőime sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

ÖZ

BÖLGESEL HAVA SAVUNMA İÇİN ÇOK AMAÇLI KONUŞLANMA MODELİ

Zeynep ÖZDEMİR

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, katmanlı hava savunma sistemi ile bir bölgenin olası hedeflerden korunması için füzelerin optimal tahsisi ve konuşlanma sorununu ele almaktadır. Bu kapsamda, etkisiz hale getirme olasılığı ve toplam maliyet unsurlarının optimize edildiği çok amaçlı model geliştirilmiştir. Konuşlanma problemi için seçilen bölgedeki çevresel unsurlar nedeni ile yerleşim yapılabilecek alan sınırlandırılmış, yerleşimin bu alan içerisinde yapılması kısıt olarak eklenmiştir. Model, Math Works'ün MATLAB R2016b programı ile kodlanarak çözülmüştür.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Hava Savunma Sistemleri, Katmanlı Hava Savunma, Etkisiz hale getirme olasılığı, Optimizasyon

Danışman: Doç.Dr. Yusuf Tansel İÇ, Başkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü.

ABSTRACT

MULTI-OBJECTIVE DEPLOYMENT MODEL FOR REGIONAL AIR DEFENSE

Zeynep ÖZDEMİR

Baskent University, Institute of Science

The Department of Industrial Engineering

This study focused on optimal allocation and deployment problem of missiles in order to protect a region against possible threats by Layered Air Defense System. A multi-objective model has been developed to optimize the probability of kill and total cost. For deployment problem, in the region an area, where the settlement can be made, has been selected and deployment within this area is added to the model as a constraint. The problem has been solved by coding with MATLAB R2016B program of Math Works.

KEY WORDS : Air-Defense Systems, Layered Air Defense, Probability of Kill, Optimization

Advisor : Associate Professor Yusuf Tansel İÇ, University, Industrial Engineering Department.

İÇİNDEKİLER LİSTESİ

ÖZ	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER LİSTESİ	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	iv
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Motivasyon.....	1
1.2. Katmanlı Hava Savunma Sistemleri.....	3
1.2.1. Çok Alçak/Alçak İrtifa Hava Savunma Sistemleri.....	4
1.2.2. Orta İrtifa Hava Savunma Sistemleri.....	4
1.2.3. Yüksek İrtifa Hava Savunma Sistemleri.....	4
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	6
2.1. Bölgesel Hava Savunma Eniyilemesi	6
2.2. Çok Amaçlı Optimizasyon	9
3. BÖLGESEL HAVA SAVUNMA İÇİN ÇOK AMAÇLI VE KONUŞLANMA MODELİ	
11	
3.1. Mevcut Durum ve Problemin Tanımı.....	11
3.2. Önerilen Matematiksel Model.....	11
3.3. Önerilen Sezgisel Algoritma	13
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	30
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	38
KAYNAKLAR LİSTESİ	40
EK 1 : Kısıtlar MATLAB Kodu.....	42
EK 2: Yerleşim Etkinlik Hesapları MATLAB Kodu	44

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 : Katmanlı/Kademeli Hava Savunma	3
Şekil 3.1: Yerleşim Bölgesi Poligon Örneği	12
Şekil 3.2 : Tek Lançer için Kısıt Fonksiyonu	13
Şekil 3.3: MOFEPSO Algoritması Akış Diyagramı.....	15
Şekil 3.4 : Lançerin Yerleştirildiği Örnek Gösterim	23
Şekil 3.5 : Tip 1 - Etkisiz Hale Getirme Olasılıklarının Uzaklığa Bağlı Değişimi.....	24
Şekil 3.6 : Tip 2 - Etkisiz Hale Getirme Olasılıklarının Uzaklığa Bağlı Değişimi.....	25
Şekil 3.7 : Tip 3 - Etkisiz Hale Getirme Olasılıklarının Uzaklığa Bağlı Değişimi.....	25
Şekil 3.8 : Korelasyon Sonuçları.....	26
Şekil 3.9 : Poligon, Lançer Yerleşimi ve Uzaklık Örnekleri	28
Şekil 4.1: Koşum Sonuçları	32
Şekil 4.2 : 8 Adet Lançerin Optimum Yerleşim Sonucu	33
Şekil 4.3 : 7 Adet Lançerin Optimum Yerleşim Sonucu	34
Şekil 4.4 : 3 Adet Lançerin Optimum Yerleşim Sonucu	35
Şekil 4.5 : Maliyet - Etkisiz Hale Getirme Olasılığı (%) Dağılımları	36

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 3.1 : Konfigürasyon Tiplerine göre Yerleştirilen Lançer Tipleri, Füze Tipleri ve Sayıları	18
Çizelge 3.2 : Lançer Maliyetleri	19
Çizelge 3.3 : Füze Maliyetleri	19
Çizelge 3.4 : Füze Etkili Menzilleri.....	24
Çizelge 4.1 : Koşum Alternatifleri	31
Çizelge 4.2 : Domine Deneme Sonuçları	37

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

N^L : Toplam yerleştirilecek lançer sayısı

N_i^{ft} : i numaralı lançere yerleştirilebilecek füze tipi sayısı

N^p : Kapalı poligon (lançerlerin yerleştirilebileceği bölge) sayısı

$N_{i,j}^f$: i numaralı lançere yerleştirilebilecek j tipi füzenin adedi

N_f^{pN} : f numaralı poligonun köşe noktalarının sayısı

k_i^L : i numaralı lançerin konfigürasyon tipi

l_i^T : i numaralı lançerin tipi

$t_{i,j}^f$: i numaralı lançere yerleştirilebilecek füzenin tipi

$(\varphi^{\min}, \varphi^{\max})$: Seçilen coğrafi bölgenin yer aldığı koordinatların enlem aralığı

$(\lambda^{\min}, \lambda^{\max})$: Seçilen coğrafi bölgenin yer aldığı koordinatların boylam aralığı

φ_i^L : i numaralı lançerin enlemi

λ_i^L : i numaralı lançerin boylamı

P : Bölgede sağlanan toplam etkisiz hale getirme olasılığı (*ing. Probablity of Kill*)

$P_{l,m}$: (l, m) hücrenin orta noktası için toplam etkisiz hale getirme olasılığı

$p_{l,m,i,j}$: (l, m) hücrenin orta noktası için yerleştirilen i numaralı lançerin, j tipi füzenin etkisiz hale getirme olasılığı

s^φ : Enlemin bölündüğü parça sayısı

s^λ : Boylamın bölündüğü parça sayısı

M^{N^L} : Yerleştirilen lançer ve füzelerin toplam maliyeti

m_i^L : i numaralı lançerin birim maliyeti

$m_{i,j}^{ft}$: i numaralı lançere yerleştirilebilecek j tipi füzenin birim maliyeti

$d_{l,m,i}$: i numaralı lançerin (l, m) hücrenin orta noktasına uzaklığı (km)

x_i^φ : i numaralı lançerin kartezyen koordinat sisteminde x-ekseni konumu

y_i^λ : i numaralı lançerin kartezyen koordinat sisteminde y-ekseni konumu

T^{Utm} : Utm projeksiyon ile kartezyen koordinata çevrim fonksiyonu

$E_{l,m}^{\phi}$: (l, m) hücresinin orta noktasının kartezyen koordinat sisteminde x-ekseni konumu

$B_{l,m}^{\lambda}$: (l, m) hücresinin orta noktasının kartezyen koordinat sisteminde y-ekseni konumu

x_i^{ϕ} : i numaralı lançerin pozisyonunun UTM projeksiyon ile kartezyen koordinat sisteminde x-ekseni konumu

y_i^{λ} : i numaralı lançerin pozisyonunun UTM projeksiyon ile kartezyen koordinat sisteminde y-ekseni konumu

F_f^n : f numaralı poligonun köşe noktalarının kartezyen koordinat sisteminde pozisyonlarının bir dizisi

$r_{i,f}$: i numaralı lançerin f poligonuna olan uzaklığı (km)

$d_{i,f}$: i numaralı lançerin f poligonunun kenarlarından en yakın olanına olan uzaklık

$x_{f,h}^p$: f numaralı poligonun h numaralı köşe noktasının kartezyen koordinat sisteminde x-ekseni konumu

$y_{f,h}^p$: f numaralı poligonun h numaralı köşe noktasının kartezyen koordinat sisteminde y-ekseni konumu

$e_{f,w}^p$: f numaralı poligonun w kenarını oluşturan doğru parçası

$Z_{i,f,w}$: i numaralı lançerin, f numaralı poligonun w kenarına olan uzaklığı

1. GİRİŞ

1.1. Motivasyon

Gelişen teknolojiler ile birlikte ülkelerin savunma ve güvenlik ihtiyaçları her geçen gün artmaktadır. Günümüzde buna paralel olarak ülkeler, güvenliğini sağlamak, hava sahasını olası tehditlere karşı kontrol etmek ve korumak amacı ile hava savunma sistemlerini kullanmakta ve geliştirmektedir.

Hava Savunma Sistemleri, geçmişten günümüze dünya savaşlarında ve diğer savaşlarda sıkça kullanılmış olup, yeni tür silah sistemleri oldukları söylenemez. I. Dünya Savaşı'nda uçakların ve havadan atılan mühimmatların kullanımı, Alman V-1 seyir füzelerinin ve V-2 balistik füzelerinin II. Dünya Savaşı'nda Londra'da saldırısı, Mısır'ın füze taşıyan botu tarafından atılan seyir füzesi ile İsrail'in savaş gemisini batırması, Falkland Savaşı sırasında ve İran-İrak Savaşı sırasında kullanılan Exocet füzeleri hava gücünün gelişimini ve hava tehdidini gösteren önemli olaylardır.

“Soğuk Savaş yıllarında Doğu ile Batı blokları arasındaki nükleer dengesinin ana unsurlarından birisini oluşturan, 1970'li yıllardan itibaren Türkiye'nin komşularının envanterine de girmeye başlayan balistik füzelerin, Türk kamuoyunun gündemine gelmesi ve Türkiye'nin tehdit algılamaları arasında kendine yer bulması 1991 Körfez Savaşı sırasında olmuş, Irak'ın Scud ve türevi balistik füzelerine karşı Türkiye'nin kendini koruyacak imkânlarla sahip olmadığının fark edilmesi kaygı ve şaşkınlık yaratmıştır” [1].

Tarih boyunca devletler ulusal çıkarlarını korumak ve ulusal hedeflerine ulaşmak için savunma stratejileri geliştirmiştir. Her devlet stratejisini gerçekleştirmek için ve ulusun bekasını korumak için yeni planlar geliştirmiştir. Bu nedenle, sadece olası bir savaş sırasında savunma ve güvenlik ihtiyaçlarını karşılamak amacı ile değil, savaşmadan, rakiplerine kendi politikalarını uygulatmak ve ulusal çıkarlarını korumak amacı ile de ülkelerin “Caydırıcı Güç” unsurlarına sahip olması gerekmektedir.

Ülkemizin yer aldığı jeostratejik bölgede yaşanan ekonomik, siyasal, askeri belirsizliklerin neden olduğu güvensizlik ve komşularının birçoğunun gelişmiş balistik ve seyir füzelerine sahip olması nedeni ile Türkiye'nin hava sahasını muhtemel tehditlerden korumak ve modern savunma sistemlerini güçlendirmesi ihtiyacı kaçınılmaz olmuştur.

Bu sebeple ülkemiz zaman içerisinde savunma sanayiinde ciddi atılımlarda bulunmuş, Hava Savunma Sistemleri ile ilgili önemli yatırımlar yapmış ve teknoloji transferleri gerçekleştirilmiştir.

1950'li yılların teknolojisini taşıyan ABD menşeli 72 adet 'Nike Hercules' füzesi 1959-1964 yılları arasında Türk Hava Kuvvetleri bünyesine dahil edilmiştir. Nike Hercules Teknolojisinin eski olması ve savunma kabiliyetinin çok düşük olması nedeni ile dünyadaki birçok ülke bu füzelerini kullanım dışı bırakmıştır. Türkiye ve Güney Kore envanterinde Nike Hercules bulunduran son iki ülkedir.

1959 yılında ABD envanterine giren 40 km menzilli HAWK füzeleri, 2002 yılında envanterden çıkarılmış ve 2005 yılında Türkiye'ye hibe edilmiştir.

Özellikle 1974 Kıbrıs Barış Harekatı sonrasında 1975 - 1978 yılları arasında ABD senatosunun Türkiye'ye uyguladığı silah ambargosundan ve 1991 Körfez Savaşı'nda çıkarılan dersler, Türk askeri ve diplomatik yetkililerin bu silah sistemlerine ilgi göstermesine sebep olmuştur. Özellikle 2002 yılı itibarıyla Türkiye, hava savunma kapasitesini artırmak gayesiyle, bu sistemi kurma yolunda güçlü bir irade ortaya koymuştur.

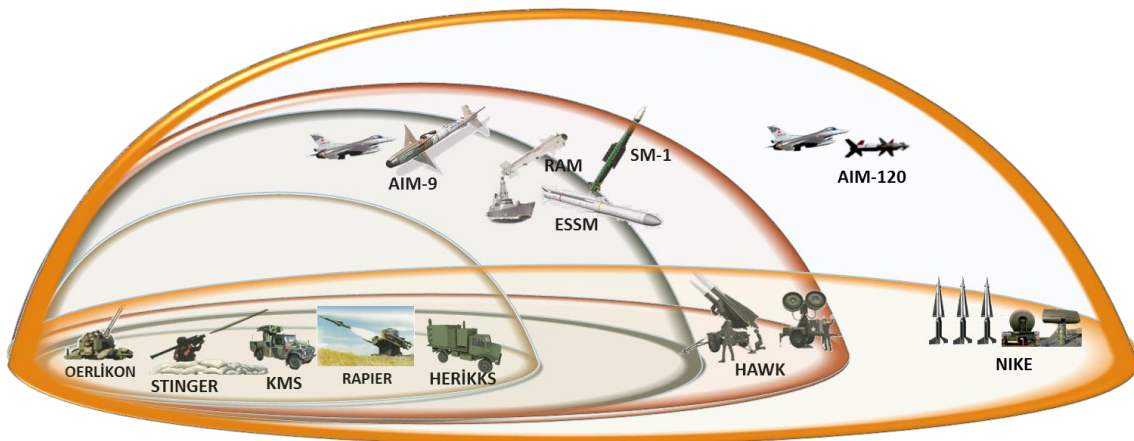
ABD'nin Türkiye'nin Patriot talebine olumlu yanıt vermemesi üzerine Türkiye, Rusya'nın S-400 hava savunma sistemine yönelmiştir. Türkiye ile Rusya arasında Eylül 2017'de imzalanan anlaşmaya göre, Türkiye, Rusya'dan 2,5 milyar dolar

karşılığında toplam dört bataryadan oluşan iki adet S-400 sistemi satın almış ve anlaşma doğrultusunda ilk teslimatlar gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Tüm bu Hava Savunma Sistemi tedarik çalışmalarının yanı sıra, Türkiye'nin yerli projelerle HİSAR, SİPER gibi Hava Savunma Sistemi geliştirme proje çalışmaları devam etmektedir.

1.2. Katmanlı Hava Savunma Sistemleri

Hava savunma sistemleri uçak, helikopter, insansız hava araçları, seyir füzeleri, kısa menzilli roket ve füzeler, balistik füzeler gibi hedeflere karşı farklı menzil ve irtifalarda önleme yapan sınıflardan oluşmaktadır. Bunlar kısa menzil/alçak irtifa, orta menzil/irtifa, uzun menzil/yüksek irtifa vb. sınıflardır.

Havadan gelebilecek tehditlerin çeşidinin artması, hava savunma sistemlerinin bazı tehditlere karşı çok etkili olup diğerlerine karşı tamamen etkisiz olması, birçok sistemin bir bütün olarak kullanılmasına neden olmuştur. Birden fazla savunma unsurunun aynı ortamda kullanıldığı konseptte Katmanlı/Kademeli Hava Savunma (**Error! Reference source not found.**) adı verilmektedir. Katmanlı hava savunma şemsiyesinin içinde; hava soluyan uçaklar, helikopterler, insansız hava araçları vb. uçar araçlara karşı menzil ve tehdit boyutuna göre kullanılacak kısa, orta veya uzun menzilli hava savunma sistemi/sistemleri bulunmalıdır.



Şekil 1.1 : Katmanlı/Kademeli Hava Savunma

1.2.1. Çok Alçak/Alçak İrtifa Hava Savunma Sistemleri

Alçak irtifadaki uçaklara ve helikopterlere karşı kullanılan karadan havaya füze sistemleridir. Bu füze sistemleri çoğunlukla gelişmiş bir lançer sistemine ihtiyaç duymayan, tek personel tarafından ateşlenebilen MANPADS (Man Portable Air Defense System) sistemlerdir.

Tek omuzdan atılabilmesi, mobil olması, yüksek tahrip ve isabet özelliği olması gibi sebeplerle hava savunmasında önemli bir yere sahiptirler. Türkiye'nin envanterinde bulunan Alçak İrtifa Hava Savunma Sistemleri'nden bazıları Şekil 1'de de gösterilen Stinger, KMS, Rapier Füzeleridir. Geliştirme ve testleri devam etmekte olan HİSAR-A Alçak İrtifa Hava Savunma Sisteminin etkili menzili 15 km olacak olup, 2021 yılında envantere girmesi beklenmektedir.

1.2.2. Orta İrtifa Hava Savunma Sistemleri

Orta irtifadaki (10-50 km) uçaklara, helikopterlere ve füzelere karşı etkili karadan havaya füze sistemleridir. HAWK, azami menzili 40 km, etkili menzili 18 km olan Türkiye'nin envanterinde olan tek Orta İrtifa Hava Savunma Sistemidir.

25 km sistem önleme menzili olacak olan HİSAR-O sisteminin geliştirme ve testleri devam etmektedir. 2021 yılında Türk Hava Kuvvetleri envanterine girmesi beklenmektedir.

1.2.3. Yüksek İrtifa Hava Savunma Sistemleri

Yüksek irtifadaki (150-200-400+ km) füzelere (balistik) ve hava araçlarına karşı etkili karadan havaya füze sistemleridir.

Türkiye'ye sonuncusu 1964 yılında teslim edilen Nike Hercules füzeleri elektronik sistemleri modernize edilemeyecek kadar eskidiği ve üretici firma kalmaması nedeni ile şu an pasif bir şekilde envantere tutulmaktadır.

S-400 sisteminin aktif hale getirilmesi ile Türkiye ilk defa hava savunma şemsiyesinin tüm katmanlarına sahip olacaktır. Sistem, alçak, orta ve yüksek irtifa-
menzil için ayrı füze taşıyabilmekte, tehdit durumuna göre ateşleme yapabilmektedir.

Ayrıca, milli bir sistem olacak olan Uzun Menzilli Bölge ve Hava Savunma Sistemi, SİPER'in tasarım ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Bölgesel Hava Savunma Eniyilemesi

Bölgesel Hava Savunma alanında gelen tehdide karşı füze ataması (tahsisi) ile ilgilenen birçok çalışmaya rastlanırken; Hava Savunma Sistemlerin bölgelere yerleşim optimizasyonuna (Missile Allocation) ilişkin yayımlanan araştırmaların görece az olduğu görülmüştür.

“Hava savunma teorisi ile pratik arasında bir boşluk olduğu sonucuna vardık. Silah teknolojisi gelişme hızı ve hava tehdidi artışının hızlı olmasına rağmen, analitik araştırmalar buna göre geliştirilmemiştir. Simülasyon teknikleri gelişmiş olsa da, çok çeşitli potansiyel çözümleri hızlıca değerlendirme yetenekleri sınırlıdır” [2].

Yerleşim optimizasyonu ve kullanılan yöntemlere ilişkin literatürde rastlanan bazı önemli çalışma özetleri aşağıda yer almaktadır.

Leibowitz vd., [3] tarafından yapılan çalışmada, farklı maliyet ve performanslara sahip bataryaların seçimi ve bu bataryaların gelecek saldırılara karşı savunmasının optimize edilmesi ele alınmıştır. Bir dairenin etrafına simetrik bir şekilde yerleştirilen satıhtan havaya savunma sistemlerini ele alarak idealize edilmiş savunma durumları (situation) için problem çözümü sunulmuş ve etkinlik hesabı saldırı hacmi ile savunma birim sayısının lineer olarak alındığı bir model olarak ele alınmıştır. Çalışmada saldırgan tarafından seçilen silah özellikleri ve yerleşim bilgilerinin bilindiği, savunucu tarafından saldırganın seçeceği saldırı modlarının bilindiği varsayımı ile hareket edilmiştir.

Brown vd., [4] tarafından saldırı tehdidine karşı savunma füzelerinin ön konuşlandırılarak en kötü durum hasarının verilebileceği durumun minimize edildiği bir çift-taraflı optimizasyon modeli sunmuştur. En kötü koşul ise tehdit tarafından savunma stratejilerinin (ön-konuşlanma kararlarının) bilindiği, savunucu ve saldırganın hedef değer, füze fırlatma hedefleri, silah sisteminin kapasitesi vb.

bilgilerine sahip olduğu durum olarak tanımlanmıştır. Geliştirilen Kuzey Kore saldırı senaryoları ele alınarak vaka analizi yapılmıştır.

Karasakal [2], bir deniz görev grubunda bulunan gemiler üzerinde konuşlu hava savunma güdümlü mermilerinin tehdit hava hedeflerine optimal tahsisi - Güdümlü Füze Tahsis Problemi (MAP) ve Sektör Tahsis Problemi (SAP) olarak adlandırılan, gemileri deniz üzerinde tanımlanmış sektörlere yerleştirme problemlerini ayrı ayrı ele almıştır. Füze Tahsis Probleminde, deniz görev grubunda yer alan her bir savunma sisteminin başarı sağlama olasılığını maksimize ederken, Sektör Tahsis Probleminde, deniz görev grubunun toplam beklenen önleme olasılığını maksimize edilmesi amaçlanmıştır.

Yoon vd., [5] tarafından yapılan çalışmada, koruma tesislerinin savunma gereksinimi seviyesini yansıtan ve her bir aday sitenin optimal büyüklüğü ve yerini belirleme seviyesini belirleyen bir karar modeli önerilmiştir. Sistemin yerleştirileceği bölgeyi belirlemek amacı ile; önceden belirlenmiş olan aday bölgeler için alan, iklim, düşman tehdidi ve yönetilebilirlik açısından 9 adet kriter belirlenmiş, bu kriterlerin aday bölgeler için değerleri karar vericiler tarafından belirlenerek ve TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi ile önceliklendirilmiştir. Bölgelerin savunma olasılıkları Dünya'da yaygın olarak kullanılan Extended Air Defense Simulation (EADSIM) kullanılarak hesaplanmıştır. Önerilen matematiksel model ile bölge savunmasını maksimize ederken yerleştirilen savunma system sayısını da minimize etmek amaçlanmıştır.

Lee vd., [6] Etkili ve başarılı savunma operasyonu, SAM'ın bulunduğu yere ve her bataryadaki SAM sayısına göre, her SAM'ın bulunduğu bataryadaki füzenin kullanılabilirliğine bağlı olarak iki faktöre bağlı olduğunu belirtmiştir. Bataryaların yerleşimi için genetik algoritma, her bir bataryadaki füze tahsisi için sezgisel algoritma önerilmiştir.

Kim vd.,[7] tarafından yapılan çalışmada hava tehdidine karşı etkili savunma sağlayabilmek için Hava Savunma Sistemlerinin optimum konuşlandırılması ele

alınmıştır. Çalışmada Kuzey Kore'nin Güney Kore ve tüm Dünya'ya karşı yarattığı nükleer ve kimyasal balistik füze tehdidini incelenmiştir. Her bir tehdit ve savunma sisteminin sahip olduğu hız, irtifa vb. özelliklerinin farklı olması nedeni ile kesişme noktası ve kesişme başarı olasılığı yerine savunma sisteminin konumuna göre analiz yapılmasının daha gerçekçi ve kolay uygulanabilir olduğu vurgulanmıştır. Gerçekte, Kuzey Kore'deki hangi füze üssünün, Kore'deki herhangi bir çekirdek savunma tesisine saldıracağını bilmek zor olması nedeniyle, savunma kabiliyetinin eniyilenebilmesi ancak Kuzey Kore'deki tüm füze üslerinin çekirdek savunma tesislerine saldırmak için kullandığı tüm balistik füzeleri engelleyebilmesi durumunda mümkün olabileceği düşünülmüştür. Belirlenen savunma tesislerini minimum sayıda savunma sisteminin savunması için uygun tesis ataması/konuşlanmasını optimize eden matematiksel model önerisi yapılmıştır.

Nam vd., [8] kısa menzilli hava savunma silahlarını filo gibi belirli bir alana yerleştirmek için bütçe kısıtı altındaki dağıtım sayısını sınırlayan paralel bir güvenilirlik modeli önermiştir.

Kim, [9] Patriot'un bir sonraki güdümlü silahının yanı sıra mevcut balistik karşı önlemlere ek olarak uçak tehdidini dikkate alacak bir model sundu ve CPLEX aracılığıyla füze üssünün optimum konumunu ve yönünü belirledi.

Jung vd., [10] düşman hedeflerinin uçak ve balistik füzelerle saldırıya uğradığını ve üs yerleşim yerlerinin, hedef sayılarının bilindiği varsayımı ile düşman uçaklarını ve balistik füzeleri vurma ihtimalini en üst düzeye çıkarmak için hava savunma sisteminin konumlandırma probleminin ikili bir tamsayı programlama modelini önerdi.

Baek vd., [11] eski moda HAWK sistemi ve PATRIOT sistemini, bölgesel savunmayı artırmayı amaçlayan, uygun sayılarda ve optimal yerleşim üzerine çalışmıştır.

Jeong vd., [12] Patriot sisteminin optimal yerleşimi için paralel güvenilirlik modelini kullanmayan olasılık değerlerinin toplamını maksimize eden 0-1 IP modelini sunar. Paralel güvenilirlik yerine IP modelini kullanarak çözümü basitleştirmek mümkündür.

Ancak, her olasılığın eklenmesiyle objektif ifadenin sağlanması şeklinde optimal değerini garanti edilememesi bir dezavantajdır.

Yapılan çalışmaların aksine bu çalışma ile birlikte farklı füze tipleri ve lançerler ele alınmış, uygulama istenirse farklı füze tipleri için çalışma kullanılarak optimizasyon yapılabilecektir. Aynı zamanda sadece konuşlanma optimizasyonu değil, maliyet unsuru da göz önüne alınarak karar verici için gelecek tehdit durumuna göre değerlendirme yapılabilecek bir çözüm kümesi sunulması amaçlanmıştır.

2.2. Çok Amaçlı Optimizasyon

Eniyileme diğer adı ile optimizasyon, bilim ve mühendislik dallarının birçoğunda sıkça kullanılan bir yöntemdir. Optimizasyon, bir probleme en iyi (ya da mümkün olan en iyi) çözümü bulma süreci olarak tanımlanabilir. Matematiksel modeller ile en iyi çözüm bulunurken, bu çözümü bulabilmek için uygulanan yöntemlere odaklanılır. Günümüzde zaman ve işlem gücü kısıtları olduğu için mühendislik yaklaşımları yaklaşık çözüm yöntemlerini de kullanır.

Optimizasyon problemleri ile tanımlanan amaç fonksiyonlarında bir ya da daha fazla fonksiyonun en düşük (minimum) değerinin veya en yüksek (maksimum) değerinin bulunması hedeflenir. Bu problemler, amaç fonksiyonu tek ise “tek amaçlı” optimizasyon problemi, birden fazla amaç fonksiyonu var ise “çok amaçlı” optimizasyon problemleri olarak sınıflandırılır. Çok amaçlı optimizasyon problemleri, amaç fonksiyonlarının önem sırasına göre ağırlıklandırılması ile tek amaçlı problemlere dönüştürülerek tek amaçlı optimizasyon yaklaşımlarıyla çözülebilirler. Çok amaçlı optimizasyon problemi çözüm yaklaşımlarında amaç fonksiyonları arasında seçim ve değerlendirme yapmaya gerek kalmadan tüm amaç fonksiyonları aynı anda eniyilenebilir. Ancak, bu durumda eğer eniyilenen amaç fonksiyonları aynı noktada en iyi değerlerini alamıyorsa bu tür problemlerde tek bir en iyi noktadan bahsetmek mümkün değildir. Bu nedenle, skaler “en iyi” sonuca çok amaçlı yaklaşımlarda ulaşılamamaktadır. Bunun yerine karar verici tarafından içinden bir çözümün seçilebileceği “Pareto en iyi” çözümler kümesi (Pareto kümesi veya Pareto cephesi) kullanılabilir [13]. Pareto en iyi çözümler kümesi kümede yer alan diğer hiçbir çözüm tarafından baskın gelinemeyen çözümlerden oluşur.

Uygulamada gerçek problemlerin 3nemli bir kısmı hem çok amaçlı hem de çok kısıtlıdır. Çok kısıtlı problemlerde kısıtlara uygun bir 3z3m3 bulmak amaç fonksiyonunu eniyileyen 3z3m3 bulmak kadar zor olabilir. Literat3re baktığımızda, çok kısıtlı optimizasyo problemlerinin 3z3m3nde evrimsel algoritmalar yaygın olarak kullanılmaktadır. Çok amaçlı evrimsel algoritmalar ile ilgili yapılan alışmalar Zhou ve diğerleri [13] tarafından derlenmiştir. Çok amaçlı yaklaşımlarda, kısıtların ele alınması ile ilgili y3ntemler hakkında Coello [14] ve Mezura-Montes ve Coello [15] tarafından çalışmalar yapılmıştır.

3. BÖLGESEL HAVA SAVUNMA İÇİN ÇOK AMAÇLI VE KONUŞLANMA MODELİ

3.1. Mevcut Durum ve Problemin Tanımı

Ana savunma silah sistemi olarak önem kazanan sathıtan havaya füzelere (SAM) dayalı Hava Savunma Sistemleri'nin etkili (etkin) ve başarılı bir savunma operasyonu için;

- Katmanlı hava savunma sistemlerinin doğru sayıda ve çeşitte tahsis edilmesi,
- Stratejik olarak önemli bir noktaya veya bölgeye doğru şekilde yerleşimi çok önemlidir.

Yapılan çalışmada seçilen coğrafi bölgede güvenlik seviyesinin ve maliyetin eniyilenmesi amacı ile hava savunma sistemlerinin tahsisi ve yerleşimleri ile ilgili matematiksel model önerilmiştir.

3.2. Önerilen Matematiksel Model

Bu bölümde, Hava Savunma Sisteminin yerleşim eniyilemesi problemi için önerilen matematiksel modele yer verilecektir. Önerilen matematiksel model için gerekli parametre ve değişkenler tanımlanacak, matematiksel modelin amaçları açıklanacak ve modelin kısıtları geliştirilecektir.

Amaç Fonksiyonları

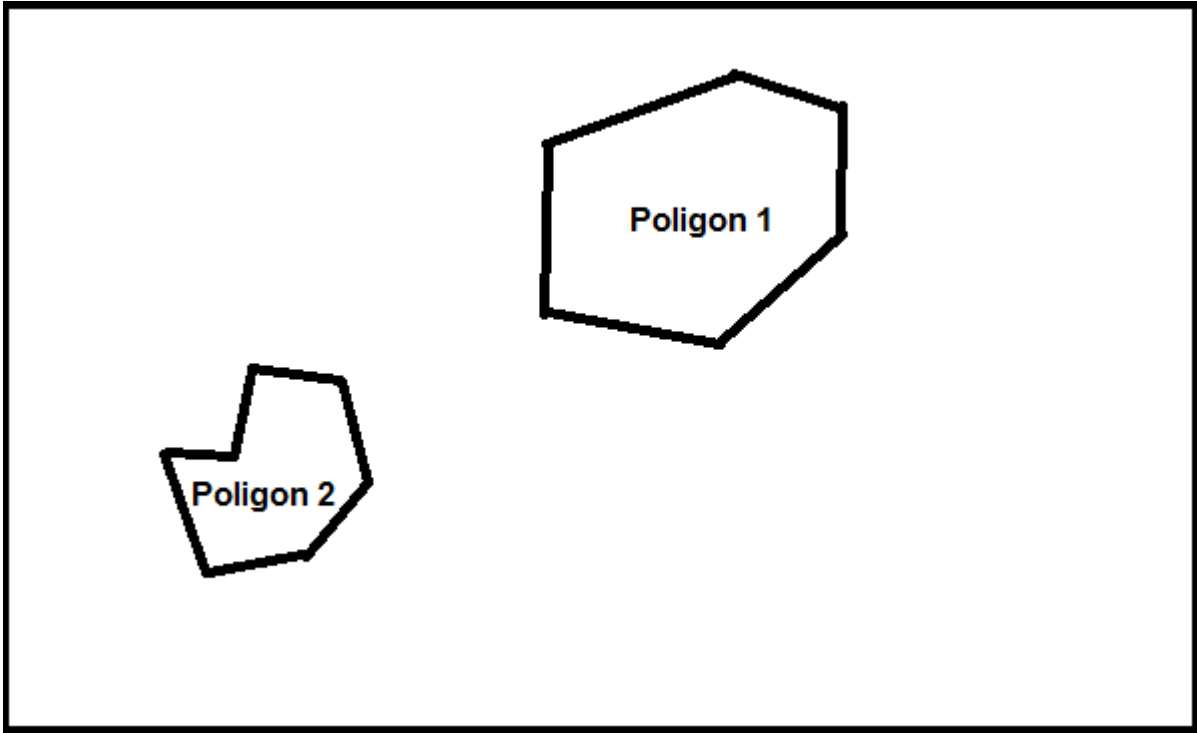
Matematiksel modelde Eş.(1)'de verilen amaç fonksiyonu ile toplam maliyeti enküçüklenmektedir. Eş.(2)'de verilen amaç fonksiyonunda ise ortalama negatif etkisiz hale getirme olasılığı enküçüklenmektedir. Burada etkisiz hale getirme olasılığının (*Ing.* Probablity of kill) negatifinin alınarak enküçüklenmesinin nedeni "etkisiz hale getirme" cümlesinin içerdiği olumsuzluk nedeniyledir. Eş. (1) ve (2) de görüldüğü gibi amaç fonksiyonları doğrusal fonksiyonlar değildir. Bu nedenle tez kapsamında matematiksel modelin çözümünde sezgisel eniyileme yöntemlerine başvurulmuştur.

$$Enk Z = \sum_{i=1}^{N^L} (m_i^L + \sum_{j=1}^{N_i^f} (m_{i,j}^f N_{i,j}^f)) \quad (1)$$

$$Enk -P = \left[\sum_{l=1}^{s^\varphi} \sum_{m=1}^{s^\lambda} (1 - \prod_{i=1}^{N^L} \prod_{j=1}^{N_i^f} (1 - p_{l,m,i,j})^{N_{i,j}^f}) \right] / (s^\varphi * s^\lambda) \quad (2)$$

Kısıtlar

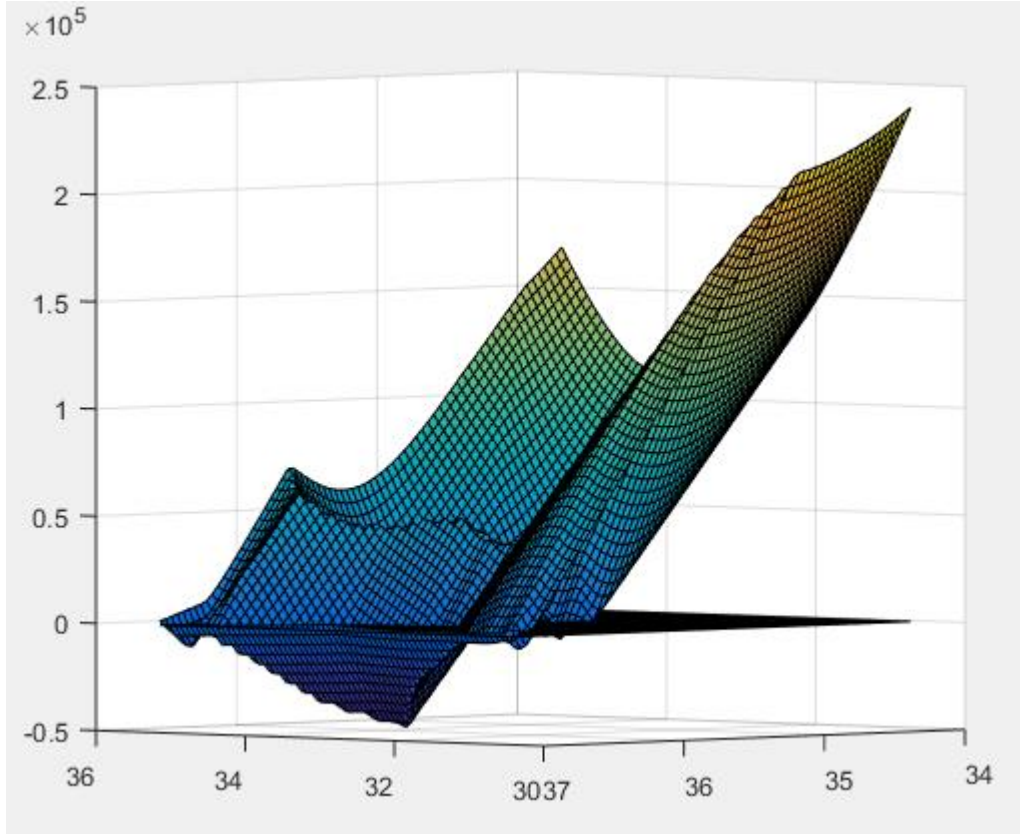
Yerleştirilecek olan lançerlerin çevresel şartlara uygun şekilde yerleşiminin sağlanabilmesi için uygun alanlar Şekil 3.1'deki gibi belirlenirse, yerleştirilecek her bir lançerin poligonlardan birinin içerisinde kalması gerekliliği modelin kısıtını oluşturacaktır.



Şekil 3.1: Yerleşim Bölgesi Poligon Örneği

Yerleşim için seçilen bölgenin tamamında tek lançer kısıt fonksiyonu incelendiğinde, lançer yerleşim konumlarının kısıta uygunluğu Şekil 3.2'de gösterilmektedir. x-eksenin altında kalan negatif değerler yerleşimin (poligon içerisinde) uygun olduğu, pozitif değerler ise uygun olmadığı durumları göstermektedir. Tek bir lançer için

yapılan bu analize göre kısıtı matematiksel model ifade ederek çözüm işleminin çok güç olduğu görülmektedir.



Şekil 3.2 : Tek Lançer için Kısıt Fonksiyonu

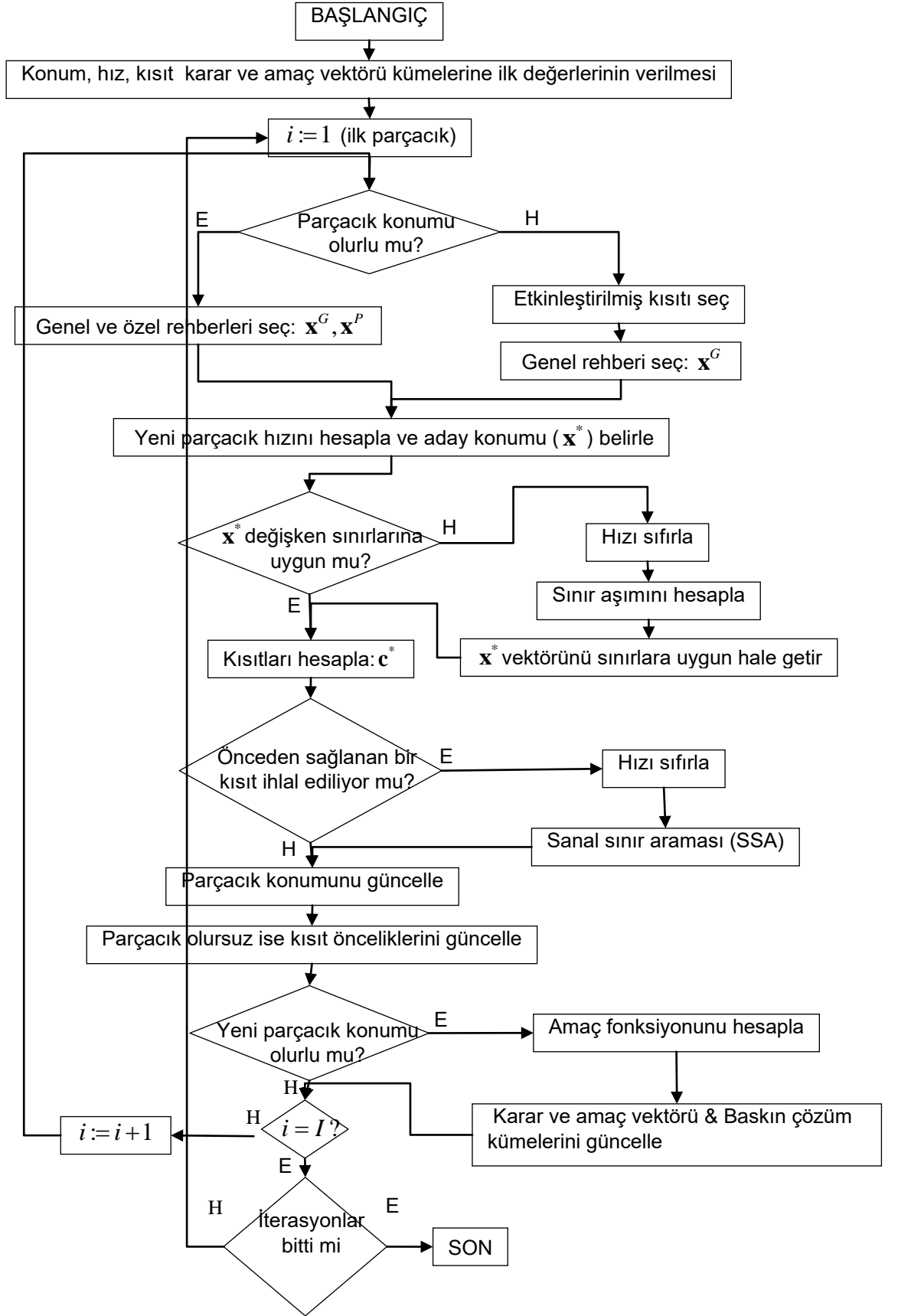
3.3. Önerilen Sezgisel Algoritma

Yapılan çalışmadaki temel amaç, karar vericiye farklı özelliklere sahip Katmanlı Hava Savunma Sisteminin belirlenen bir coğrafyaya yüksek performans sağlayacak şekilde yerleşim yapılırken maliyeti de en küçükleyen bir çözüm kümesi sunmaktır. Çalışmada sezgisel eniyileme yöntemi olarak, Eberhart ve Kennedy [16] tarafından geliştirilip Bratton ve Kennedy [17] tarafından standart hale getirilen bir evrimsel eniyileme algoritması olan parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO)'ndan yararlanılmıştır. PSO, temelde sürüde bulunan bireylerin konumlarının, sürünün en iyi konumuna sahip olan bireyine yaklaştırılmasına dayanır. Her bir birey bir önceki konumundan gelen deneyime göre sürüde bulunan en iyi konuma doğru ayarlar. Çalışmada bu optimizasyona dayanan yine MATLAB fonksiyonu olarak eklenmiş olan FEPSO [18] algoritması ile bu algoritmanın çok amaçlı problemler için geliştirilmiş hali olan MOFEPSO (Multi-objective feasibility enhanced particle swarm

optimization) [15] algoritması kullanılmıştır. Çok amaçlı ve kısıtlı optimizasyon gerçekleştirilen bu çalışmada MOFEPSO, çok amaçlı ve kısıtlı problemleri ele alabilen sürümlerinin bulunması ve bu tip problemler için başarımlarının gösterilmiş olması nedeniyle tercih edilmiştir.

MOFEPSO çalışma algoritması Şekil 3.3'te verilmiştir [18]. Parçacık konumlarının ilk değerlerinin verilmesi ve kısıt matrisinin hesaplanmasından sonra, olabilir görülen konumlar için amaç vektörleri hesaplanır. Buna göre baskın çözüm kümeleri güncellenir. MOFEPSO'da olabilir görülmeyen (veya bir başka deyişle olursuz) bireyler/noktalar için amaç fonksiyonu hesaplanmaz. Çalışmada "Olabilir" (Olurlu) bir çözüm tüm kısıtları sağlayan bir karar vektörünü ifade etmektedir. Mevcut parçacık konumunda sağlanan herhangi bir kısıtın ihlal edilmesi halinde, Sanal Sınır Araması (SSA) yöntemi ile sanal olurluk denen bu kuralın ihlal edilmediği (sanal olurlu) bir konum saptanır. [18]

MOFEPSO evrimsel bir algoritma olduğundan belirlenen sayıda rasgele lançer (sürü büyüklüğü), rasgele noktalara yerleştirilip, yine belirlenen iterasyon sayısına göre ve model içerisinde verilen kısıtlara göre optimizasyon yapılmaktadır.



Şekil 3.3: MOFEPSO Algoritması Akış Diyagramı

Düşman tehdidi gelebilecek bölge/yön değişikçe, savunma sistemlerinin yerleşim stratejileri ve bölgeleri değişebilecektir. Bu nedenle, Modelde yerleşim bölgeleri enlem (φ) ve boylam (λ) aralıkları olarak karar verici tarafından değiştirilebilmektedir.

Bunun yanısıra, yerleştirilecek her bir lançer bölgenin savunma katsayısını yani füzelerin bölgeyi koruma olasılığını artırırken maliyetin de lançer sayısı ve füze sayısına bağlı olarak artacağı unutulmamalıdır. Bu nedenle, karar verici tarafından bölge savunması için kullanılacak lançer sayısı aralık olarak modelde ele alınmıştır. Toplam yerleştirilecek lançer sayısı N^L ile gösterilmiştir. $i = \{1, 2, \dots, N^L\}$

Düşman tehdidinin büyüklüğüne bağlı olarak daha fazla maliyet göz önüne alınıp, bölge güvenliğinin artırılması tercih edilebilecektir. Aynı zamanda, ülke yatırımlarına bağlı olarak değişen ve yenilenen savunma sistemlerine uyum sağlanabilmesi amacı ile; lançer tipi, füze tipleri (etkili oldukları menziller) ve performansları (Etkisiz hale getirme olasılıkları, *ing. probablity of kill*) parametre olarak tanımlanmıştır.

Gerçek hayatta olduğu gibi, Hava Savunma Sistemleri tek tip lançer ve füzelerden oluşmamaktadır. Bu nedenle, farklı lançer tiplerine yerleştirilebilecek füze tipleri ve sayıları modelde farklı konfigürasyon tipleri olarak ele alınmıştır.

Çok amaçlı konuşlandırma ve yapılandırma eniyilemesi problemi en genel hali ile

$$\mathbf{y} = \mathbf{f}(\mathbf{x}) \equiv [f_1(\mathbf{x}) \quad f_2(\mathbf{x})]^T \quad (3)$$

olarak tanımlı amaç vektörünün

$$g_a(\mathbf{x}) \leq 0, \quad a \in \mathbb{N}_{>0}^{\leq A} \quad (4)$$

kısıtları altında enküçüklenmesi (minimizasyonu) olarak tanımlanabilir. Eş. 4 ile verilen kısıtları ihlâl etmeden; Eş. 2 ile tanımlı amaç fonksiyonu vektörünün en düşük değerini sağlayacak bir \mathbf{x} vektörünün (tasarım parametresi uzayında) bulunması problemin özünü oluşturur. Burada $\mathbf{x} = [x_1 \quad x_2 \quad \dots \quad x_N]^T$ karar vektörünü, $A = N^L$ ise eşitsizlik kısıtlarının sayısını ifade etmektedir. Burada, $N^L \in \mathbb{N}$ yerleştirilebilecek lançer sayısını, $N = 3N^L$ ise karar değişkeni sayısını

belirtmektedir. Görüldüğü gibi, hem karar vektörü boyutu hem de kısıt vektörü boyutu N^L ile ilişkilidir. Bu nedenle seçilen her bir N^L için eniyileme süreci ayrıca işletilmiştir. Belirli bir N^L için karar vektörü \mathbf{X} aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} k_1^L \\ k_2^L \\ \vdots \\ k_{N^L}^L \\ \varphi_1^L \\ \varphi_2^L \\ \vdots \\ \varphi_{N^L}^L \\ \lambda_1^L \\ \lambda_2^L \\ \vdots \\ \lambda_{N^L}^L \end{bmatrix} \quad (5)$$

Burada

$$k_i^L \in \{1, 2, 3, 4, 5\}, \forall i \in \{i \in \mathbb{N} | 1 \leq i \leq N^L\} \quad (6)$$

i numaralı lançerin kofigürasyon tipini,

$$\varphi_i^L \in \{\varphi \in \mathbb{R} | \varphi^{\min} \leq \varphi \leq \varphi^{\max}\} \quad (7)$$

i numaralı lançerin enlemine (derece),

$$\lambda_i^L \in \{\lambda \in \mathbb{R} | \lambda^{\min} \leq \lambda \leq \lambda^{\max}\} \quad (8)$$

ise i numaralı lançerin boylamını ifade eder.

İki amaç fonksiyonundan oluşan amaç vektörü ise aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\mathbf{y} = \mathbf{f}(\mathbf{x}) \equiv \begin{bmatrix} -P \\ M \end{bmatrix} \quad (9)$$

Amaç fonksiyonunu oluşturan fonksiyonlarından M , N^L adet lançer için hesaplanan toplam maliyeti temsil etmekte olup, toplam maliyet aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

$$M = \sum_{i=1}^{N^L} (m_i^L + \sum_{j=1}^{N_i^f} (m_{i,j}^f N_{i,j}^f)) \quad (10)$$

Burada toplam maliyet M , yerleştirilen her bir lançerin birim maliyetleri ve lançer üzerine yerleştirilen füze tip ve sayısına göre hesaplanan füzelerin maliyetlerinin toplamından oluşmaktadır. Bölge hava savunma sistemleri, Uzun menzilli füzelerin yanında, uzun menzilli füzelerin orta menzillerde (50 km) etkinliklerinin düşük olması ve maliyetlerinin yüksek olması sebebi ile orta menzilli füzeler de içerirler. Ayrıca benzer sistemlerde sistemin öz savunmaları için kısa menzilli füzelerin de bulunduğu görülmüştür. Örneğin S-400 hava savunma sisteminde 3km - 380 km aralığında etkili olacak şekilde kısa, orta ve uzun menzilli füzeler bulunmaktadır. Bu çalışmada da benzer sistemlerin füze etkinlik ve özellikleri dikkate alınarak farklı tip ve özelliklere sahip füzelerin taşınabildiği lançer konfigürasyonları tanımlanmıştır.

Belirli bir N^L için \mathbf{x} karar vektörü ile verilen konfigürasyon tipleri, konfigürasyon tipine bağlı olarak değişen lançer tipleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Ayrıca her bir lançer tipinin taşıyabileceği füze tipi ve füze sayısı da değişkenlik göstermekte olup Çizelge 3.1'de gösterilmiştir. Füze tipleri uzun menzilli ise 1, orta menzilli ise 2, kısa menzilli ise 3 ile numaralandırılmıştır. Örneğin, konfigürasyon 2 ise, yerleştirilecek lançer tipi 2 olacaktır. 2. Tip lançer, uzun menzilli (Tip1) füzelerden 4 adet taşıyabilmektedir. Konfigürasyon 4 için diğer konfigürasyonlardan farklı olarak; 3. Tip lançer tipinin, orta menzilli (Tip 2) füzelerden 2 adet, kısa menzilli (Tip 3) füzelerden 2 adet taşıdığı durum ele alınmıştır.

Çizelge 3.1 : Konfigürasyon Tiplerine göre Yerleştirilen Lançer Tipleri, Füze Tipleri ve Sayıları

Konfigürasyon Tipi	Lançer Tipi	Füze Tipi	Füze Adedi
1	1	1	6
2	2	1	4
3	3	2	4
4	3	(2,3)	(2,2)
5	3	3	4

Aynı şekilde, lançer maliyetlerinin de, yerleştirilecek lançerin tipine göre değiştiği ve füze birim maliyetlerinin füze tiplerine göre değişkenlik gösterdiği varsayılmıştır. Çizelge 3.2’de lançer tipine göre değişen birim lançer maliyetleri gösterilmiştir. Çizelge 3.3’te ise Uzun (Tip 1), orta (Tip 2) ve kısa (Tip 3) menzilli füzeler için füze birim maliyetleri yer almaktadır. Maliyetler, çalışmada ele alınan füze tiplerinin ve lançerin birim maliyetlerinden yola çıkılarak, bir katsayı ile indirgenmiştir. Maliyetler para birimi (pb) cinsinden verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Lançer Maliyetleri

Lançer Tipi	1	2	3
Lançer Birim Maliyeti (pb)	40	32	23

Çizelge 3.3 : Füze Maliyetleri

Füze Tipi	1 (Uzun Menzil)	2 (Orta Menzil)	3 (Kısa Menzil)
Füze Birim Maliyeti (pb)	3	1	0.3

Yukarıda verilen bilgiler ışığında Eş. 11’de yer alan değişkenlere baktığımızda;

$$k_i^L \in \{1, 2, 3, 4, 5\}, \forall i \in \{i \in \mathbb{N} | 1 \leq i \leq N^L\} \quad (11)$$

k_i^L yine i numaralı lançerin konfigürasyonu ise,

$$m_i^L = \begin{cases} 40, & l_i^T = 1 \\ 32, & l_i^T = 2 \\ 23, & l_i^T = 3 \end{cases} \quad (12)$$

i numaralı lançerin tipine (l_i^T) göre değişen birim maliyetleri,

$$l_i^L = \begin{cases} 1, & k_i^L = 1 \\ 2, & k_i^L = 2 \\ 3, & k_i^L > 2 \end{cases} \quad (13)$$

i numaralı lançerin konfigürasyonuna (k_i^L) göre değişen lançer tiplerini,

$$N_i^{ft} = \begin{cases} 2, & k_i^L = 4 \\ 1, & \text{diğer} \end{cases} \quad (14)$$

i numaralı lançerin konfigürasyonuna (k_i^L) göre değişen füze tip sayısını(çeşidini),

$$m_{i,j}^{ft} = \begin{cases} 3, & t_{i,j}^f = 1 \\ 1, & t_{i,j}^f = 2 \\ 0.3, & t_{i,j}^f = 3 \end{cases} \quad (15)$$

Füze tipine ($t_{i,j}^f$) göre değişen füze birim maliyetlerini,

$$t_{i,j}^f = \begin{cases} 1, & k_i^L = 1 \\ 1, & k_i^L = 2 \\ 2, & k_i^L = 3 \\ 2, & k_i^L = 4 \wedge j = 1 \\ 3, & k_i^L = 4 \wedge j = 2 \\ 3, & k_i^L = 5 \end{cases} \quad (16)$$

i numaralı lançerin konfigürasyonuna göre değişen füze tiplerini,

$$N_{i,j}^f = \begin{cases} 6, & k_i^L = 1 \\ 4, & k_i^L = 2 \\ 4, & k_i^L = 3 \\ 2, & k_i^L = 4 \wedge t_{i,j}^f = 2 \\ 2, & k_i^L = 4 \wedge t_{i,j}^f = 3 \\ 4, & k_i^L = 5 \end{cases} \quad (17)$$

i numaralı lançerin konfigürasyonuna ve füze tipine bağlı olarak değişen füze sayılarını ifade eder.

Bu durumda, Eş. 10'da i numaralı lançerin maliyeti m_i^L , i numaralı lançerdeki j tipi füzenin maliyeti ($m_{i,j}^f$) ile toplam taşıyabileceği füze sayısı olan $N_{i,j}^f$ ile çarpımlarının toplamı 1 adet lançerin toplam maliyetini verecektir. Bu toplam, N^L adet lançer için hesaplandığında toplam maliyet olan M hesaplanabilecektir.

Eş. 9'da verilen amaç fonksiyonunun bir diğer ögesi -P yani, P etkisiz hale getirme olasılığı diğer bir deyiş ile bölgedeki toplam güvenlik seviyesini temsil etmekte iken, amaç bölge güvenliğini en üst düzeye çıkarabilmek olduğu için başarısızlık olasılığı -P enküçüklenmek istenmektedir. Belirli bir N^L için ortalama etkisiz hale getirme olasılığı Eş.18 ile hesaplanmaktadır.

$$P = \left(\sum_{l=1}^{s^\varphi} \sum_{m=1}^{s^\lambda} P_{l,m} \right) / (s^\varphi * s^\lambda) \quad (18)$$

Seçilen coğrafi bölgede güvenlik seviyesi (P)'nin hesaplanabilmesi amacı ile bölge ızgara şeklinde hücrelere ayrılmıştır. Coğrafi bölgeyi sınırlayan enlem ($\varphi^{\min}, \varphi^{\max}$), s^φ adet parçaya ve boylam ($\lambda^{\min}, \lambda^{\max}$), s^λ adet parçaya bölünürse, bölge ($s^\varphi * s^\lambda$) adet hücreden oluşacaktır. Her bir hücrenin orta noktası için $l = \{1, 2, \dots, s^\varphi\}$ ve $m = \{1, 2, \dots, s^\lambda\}$ olmak üzere ayrı ayrı etkisiz hale getirme olasılıkları $P_{l,m}$ hesaplanarak bölgenin toplam güvenlik seviyesine ulaşılabilir. Toplam güvenlik seviyesi (18) hücre sayısına bölündüğünde bölgede sağlanan ortalama güvenlik seviyesi (etkisiz hale getirme olasılığı) P hesaplanır (Eş.18). Her bir hücre için etkisiz hale getirme olasılık ($P_{l,m}$) hesabı Eş.19 ile verilmiştir.

$$P_{l,m} = 1 - \prod_{i=1}^{N^L} \prod_{j=1}^{N_i^f} (1 - p_{l,m,i,j})^{N_{i,j}^f} \quad (19)$$

Eş.16 ile verilen $P_{l,m,i,j}$, (l, m) hücresi (coğrafi bölgenin parçası) için yerleştirilen i numaralı lançerde yer alan j füze tipi için hesaplanan etkisiz hale getirme oranını göstermektedir. Öyle ki,

$$\mathbf{P}_{l,m,i,j} = (d_{l,m,i}, t_{i,j}^f) \quad (20)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. $P_{l,m,i,j}$, coğrafi bölgeye yerleştirilen füzelerin (l, m) hücresinin orta noktasına uzaklığına ve füze tipine göre değişir.

Coğrafi bölgeye yerleştirilmiş herhangi bir füzenin, (l, m) hücresinin orta noktasına uzaklığı Çizelge 3.4'te verilen füze tiplerine göre etkili menzilin dışında kalıyor ise, o füzenin ilgili hücreye etkisiz hale getirme olasılığı '0' olacaktır.

Bu noktada yerleştirilen her bir lançerin konumuna bağlı olarak uzaklık hesaplarının yapılması gerekmektedir. Karar vektörü \mathbf{x} ile verilen i numaralı lançerin yerleştirildiği noktanın (φ_i, λ_i) coğrafi enlem ve boylam olması nedeni ile uzaklık hesaplarının yapılabilmesi için kartezyen dönüşüm yapılması gerekmektedir.

Son zamanlarda ülkemizin içinde bulunduğu politik şartlar nedeni ile Doğu Akdeniz bölgesi çalışmada örnek bölge olarak seçilmiştir. Google Earth [18]'te belirlenen bölgeden alınan coğrafi koordinatlar (Enlem(φ) ve Boylam(λ)) ve elipsoid yüksekliği (h) ile gösterilmek üzere, i numaralı lançerin konumu Kartezyen koordinatlara $(x_i^\varphi, y_i^\lambda)$ Eş.21 ve Eş.22 ile çevrim yapılmıştır. Buna göre Eş. (21)ve (22) aşağıda gösterilmektedir:

$$x_i^\varphi = T^{Um} \left[\left(\frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \varphi_i}} + h \right) \cos \varphi_i \cos \lambda_i \right] \quad (21)$$

$$y_i^\lambda = T^{Um} \left[\left(\frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \varphi_i}} + h \right) \cos \varphi_i \sin \lambda_i \right] \quad (22)$$

x_i^λ , i numaralı lançerin kartezyen koordinat sisteminde x-ekseni konumu (izdüşümü), y_i^λ , i numaralı lançerin kartezyen koordinat sisteminde y-ekseni konumu olsun. (Şekil 3.4)

$E_{l,m}^\phi$, (l,m) hücrenin orta noktasının kartezyen koordinat sisteminde x-ekseni konumu, $B_{l,m}^\lambda$, (l,m) hücrenin orta noktasının kartezyen koordinat sisteminde y-ekseni konumu olsun. (Şekil 3.4)



Şekil 3.4 : Lançerin Yerleştirildiği Örnek Gösterim

i numaralı lançerin yerleştirildiği (x_i^ϕ, y_i^λ) noktasının, $(E_{l,m}^\phi, B_{l,m}^\lambda)$ noktasına uzaklığı $(d_{l,m,i})$ 2 nokta arası uzaklık formülü ile hesaplanır.

Eş.16 ile verilen $(P_{l,m,i,j})$ etkisiz hale getirme olasılığı hesabında bir diğer etken füze tipidir. Yerleştirilen füze tiplerine göre etkili oldukları menzil ve etkinlik hesapları değişmektedir. Füze tipleri ve füzelerin etkili menzilleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4 : Füze Etkili Menzilleri

Füze Tipi	Etkili Menzil
Tip 1 (Uzun)	0-164 km
Tip 2 (Orta)	3-43 km
Tip 3 (Kısa)	0-22 km

Tip 1 füze için etkisiz hale getirme olasılıklarının ($P_{l,m,i,j}$) uzaklığa bağlı değişimleri Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5 : Tip 1 - Etkisiz Hale Getirme Olasılıklarının Uzaklığa Bağlı Değişimi

Tip 2 füze için etkisiz hale getirme olasılıklarının ($P_{l,m,i,j}$) uzaklığa bağlı değişimleri Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6 : Tip 2 - Etkisiz Hale Getirme Olasılıklarının Uzaklığa Bağlı Değişimi

Tip 3 füze için etkisiz hale getirme olasılıklarının ($P_{l,m,i,j}$) uzaklığa bağlı değişimleri Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7 : Tip 3 - Etkisiz Hale Getirme Olasılıklarının Uzaklığa Bağlı Değişimi

Etkinliğin olabildiğince geniş bir alana yayıldığı çözümlerin bulunabilmesi amacıyla üçüncü bir amaç fonksiyonu olarak etkinliğin belirli bir değerin (0.2) altında kaldığı hücrelerin sayısının da minimize edilmesi değerlendirilmiştir. Ancak farklı lançer sayıları [3,8] ile gerçekleştirilen eniyilemeler sonucunda elde edilen Pareto çözümler arasında gerçekleştirilen çok değişkenli analizlerde Şekil 3.8'de verildiği üzere ortalama etkinlik ile etkinlik sağlayamayan hücre sayısı değişkenlerinin yüksek derecede eşdeğişken (korable) olduğu bulunmuştur ($p < 0.0001$). Bu nedenle etkinlik sağlanamayan hücre sayısı amaç değişkeni olarak tanımlanmamıştır.

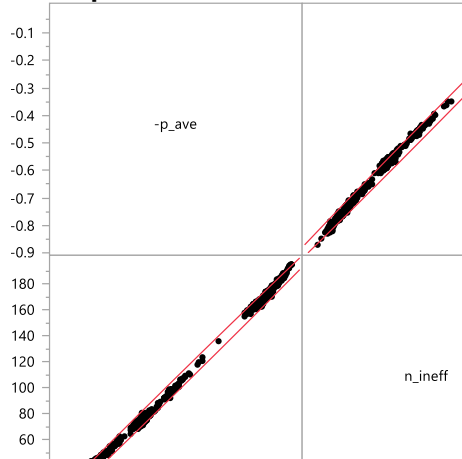
Multivariate Correlations

	-p_ave	n_ineff
-p_ave	1.0000	0.9991
n_ineff	0.9991	1.0000

CI of Correlation

Variable	by Variable	Correlation	Lower 95%	Upper 95%
n_ineff	-p_ave	0.9991	0.9990	0.9992

Scatterplot Matrix



Pairwise Correlations

Variable	by Variable	Correlation	Count	Lower 95%	Upper 95%	Signif Prob	Plot Corr
n_ineff	-p_ave	0.9991	737	0.9990	0.9992	<.0001*	

Şekil 3.8 : Korelasyon Sonuçları

Seçilen bir bölgede yer kısıtlaması olmadan yerleşim optimizasyonu ile lançerler yerleştirilmek istenirse, alanda homojen yerleşecek şekilde bir dağılım yapılabilir. Fakat gerçek hayatta deniz, göl, yerleşim yeri, dağ vb çevresel koşullar nedeni ile yerleşim yapılabilecek alan kısıtlanmaktadır. Bu nedenle başta belirlenen $(\varphi^{\min}, \varphi^{\max})$ ve $(\lambda^{\min}, \lambda^{\max})$ sınırları arasında yer alan coğrafi bölge içerisinde

yerleşim yapılabilecek olan alanlar, yerleşime uygun poligonlar olarak belirlenirse, i numaralı lançerin alan içerisinde olma kısıtı:

$$c_i = g_i(\mathbf{x}) \leq 0 \quad (23)$$

şeklinde yazılabilir. En yakın poligondaki en yakın sınırına uzaklığı '0' ve/veya küçükse i numaralı lançer uygulanabilir bir bölgededir, aksi halde uygulanabilir bir sonuç çıkmamış demektir.

$i \in \{1, 2, \dots, N^L\}$ için i numaralı lançerin tanımlı poligonun içerisinde kalma kısıtını,

$$c_i = \text{Enk}_{f \in F}(r_{i,f}) \quad (24)$$

$$F = \{f \in \mathbb{N} \mid 1 \leq f \leq N^p\}$$

N^p adet tanımlı kapalı poligon (yerleştirilebilir bölge) tanımlanırsa

$$r_{i,f} = u(x_i^\phi, y_i^\lambda, F_f^n) \quad (25)$$

x_i^ϕ , i numaralı lançerin pozisyonunun UTM projeksiyon ile kartezyen koordinat sisteminde x-ekseni konumu/izdüşümü,

y_i^λ , i numaralı lançerin pozisyonunun UTM projeksiyon ile kartezyen koordinat sisteminde y-ekseni konumu/izdüşümünü gösterir.

Öyle ki,

$$\begin{Bmatrix} x_i^\phi \\ y_i^\lambda \end{Bmatrix} = T^{Utm}(\phi_i^L, \lambda_i^L) \quad (26)$$

Burada F_f^n , f numaralı poligonun köşe noktalarının kartezyen koordinat sisteminde pozisyonlarının bir dizisidir.

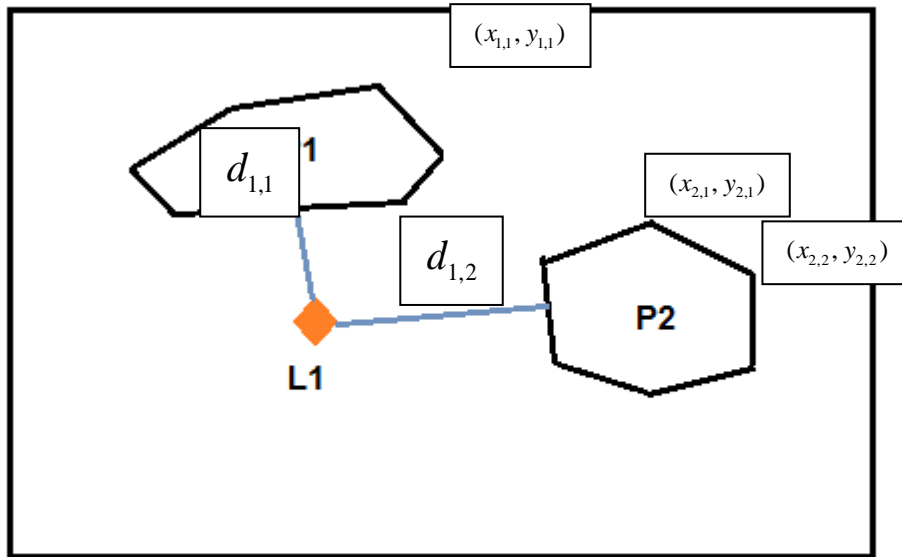
$$F_f^n = \left\{ \begin{array}{l} (x_{f,1}^p, y_{f,1}^p) \\ (x_{f,2}^p, y_{f,2}^p) \\ \vdots \\ (x_{f,N_f^{pN}}^p, y_{f,N_f^{pN}}^p) \end{array} \right\} \quad (27)$$

N_f^{pN} , f numaralı poligonun köşe noktalarının sayısı,

$x_{f,h}^p$, f numaralı poligonun h numaralı köşe noktasının kartezyen koordinat sisteminde x-ekseni konumu,

$y_{f,h}^p$, f numaralı poligonun h numaralı köşe noktasının kartezyen koordinat sisteminde y-ekseni konumu olsun.

Örnek yerleştirilebilir alan (poligon), lançer ve uzaklık gösterimleri Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9 : Poligon, Lançer Yerleşimi ve Uzaklık Örnekleri

$$r_{i,f} = \begin{cases} -d_{i,f}, & i \text{ nolu lan\u00e7er } f \text{ poligonunun i\u00e7inde ise} \\ d_{i,f}, & i \text{ nolu lan\u00e7er } f \text{ poligonunun d\u0131\u015f\u0131nda ise} \end{cases} \quad (28)$$

E\u015f. (28)'de $d_{i,f}$, i numaralı lan\u00e7erin f poligonunun kenarlarından en yakın olanına olan uzaklıktır.

Bir nokta ile bir kenar do\u011fru par\u00e7ası arası uzaklığı,

$$Z_{i,f,w} = U \left[(x_i^p, y_i^p), e_{f,w}^p \right] \quad (29)$$

Olarak tanımlarsak,

$$\begin{aligned} d_{i,f} &= \text{Enk}_{w \in R_p}(Z_{i,f,w}) \\ R_p &= \{w \in \mathbb{N} \mid 1 \leq w \leq N_f^{pN}\} \end{aligned} \quad (30)$$

$e_{f,w}^p$,

$$\begin{cases} (x_{f,w}^p, y_{f,w}^p) \text{ ve } (x_{f,1}^p, y_{f,1}^p) \text{ noktaları arasındaki kenarı, } w = N_f^{pN} \text{ ise} \\ (x_{f,w}^p, y_{f,w}^p) \text{ ve } (x_{f,w+1}^p, y_{f,w+1}^p) \text{ noktaları arasındaki kenarı, di\u011fer} \end{cases}$$

olarak ifade edilir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmanın bu bölümünde önerilen model için yapılan deneme ve elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Matematiksel model Math Works'ün MATLAB R2016b programı ile kodlanmıştır. Problemin kısıtlarının MATLAB kodu EK 1'de, etkinlik hesaplarının MATLAB kodu EK 2'de verilmiştir.

Çalışmada deneme yapabilmek amacı ile parametreler için özellik ve değerler belirlenmiştir.

Katmanlı Hava Savunma Sistemlerine uygun olması açısından te özellikleri belirtilen uzun, orta ve kısa menzilli 3 farklı füze tipine sahip olduğumuz varsayılmıştır. Bu füze tiplerinin benzer sistemlerden yola çıkılarak Çizelge 3.1'de gösterildiği gibi 5 farklı konfigürasyonda yer alan 3 farklı lançer tipine farklı sayılarda yerleştirilebileceği düşünülmüştür.

Etkisiz hale getirme olasılıkları (Probability of Kill), füze tipi ve füzenin etkili olduğu menzile göre değiştiği denklemler olarak belirlenmiştir. Bir noktanın etkinliği, nokta füze ya da füzelerin etkin menzilleri içerisindeyse '0'dan farklı olacağı düşünülmüştür. Füzelerin etkili oldukları menzil içerisinde de farklı km'lerde farklı etkisiz hale getirme olasılıklarına sahip olmaları nedeni ile etkisiz hale getirme olasılıkları denklemleri füzenin noktaya olan uzaklığına bağlı olarak değişen denklemler olarak tanımlanmış ve etkinlik-km değişimi Tip 1 füze için Şekil 3.5, Tip-2 füze için Şekil 3.6 ve Tip 3 füze için Şekil 3.7'te gösterilmiştir. Gerçek hayatta füzelerin özelliklerine göre etkili oldukları irtifa da değişmektedir. Fakat çalışma kapsamında 3. bir eksen eklemenin çözüm süresini uzatacağı düşünüldüğü için ele alınmamıştır.

Çalışmada örnek yerleşim bölgesi olarak alınan Doğu Akdeniz Bölgesi'nin Google Earth [18] üzerinden sınırları Enlem: [34.10 36.96], Boylam: [30.54 35.22] olarak seçilip parametre olarak eklenmiştir.

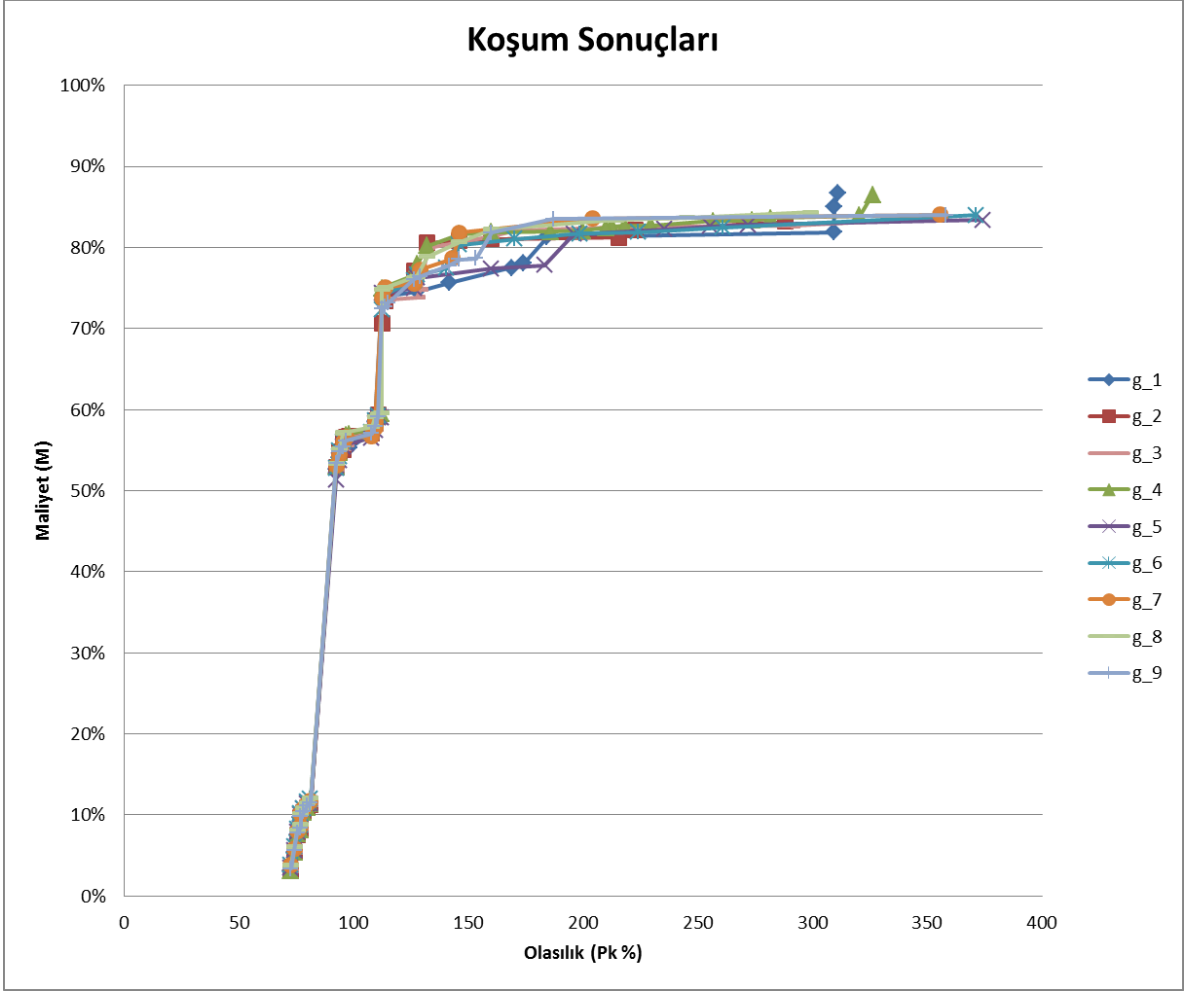
Ayrıca seçilen bölgede deniz olması nedeni ile ve denize (hava savunma gemileri çalışma dışında tutulmuştur) yine Google Earth [18] üzerinden etkili bölgeler poligonlar olarak belirlerek MATLAB koduna yüklenmiştir.

Çalışma kapsamında sürü büyüklüğü, iterasyon sayısı, enlem ve boylam'ın bölüneceği hücre sayıları için farklı koşum alternatifleri oluşturulmuştur. Bu alternatifler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Koşum Alternatifleri

Koşum	Sürü büyüklüğü	İterasyon sayısı	Enlem	Boylam
1	50	50	20	40
2	50	100	20	40
3	100	50	20	40
4	100	100	20	40
5	50	50	10	20
6	50	100	10	20
7	100	50	10	20
8	100	100	10	20
9	75	75	15	30

Koşumlar 9 alternatif için gerçekleşmiş olup, Şekil 4.1'de görüldüğü gibi sonuçlarda anlamlı bir fark görülememiştir.



Şekil 4.1: Koşum Sonuçları

Bu çalışmada, sürü büyüklüğü (*Ing.* swarm size) 100, iterasyon sayısı ise 50 olarak alınmıştır.

Coğrafi bölgede daha hassas etkisiz hale getirme olasılıklarının hesaplanabilmesi için enlem 20, boylam ise 40'a bölünerek, bölge toplamda 800 hücreye ayrılmış, her bir hücre için etkisiz hale getirme olasılıkları hesaplanmıştır.

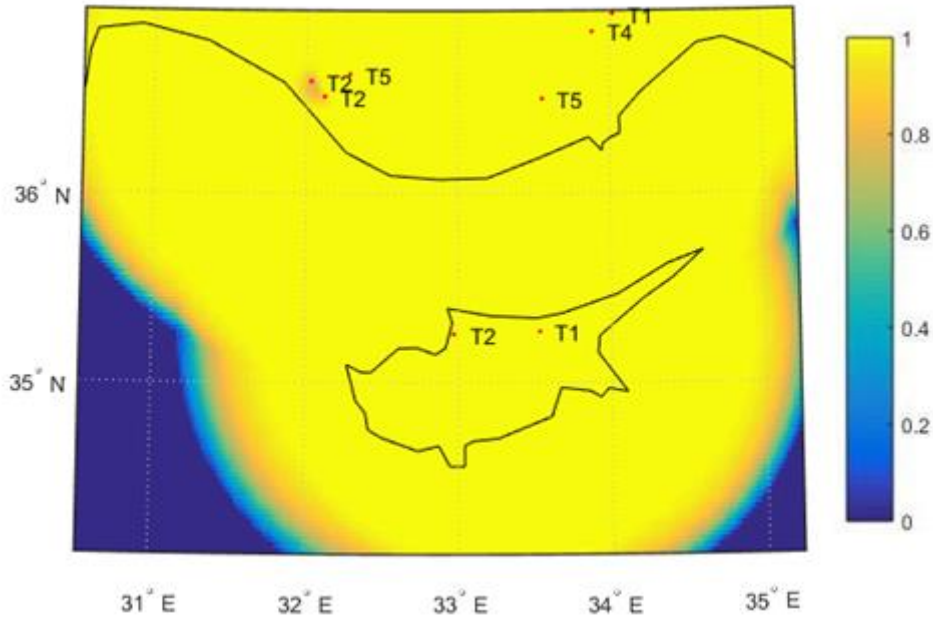
Yerleştirilecek toplam lançer sayısı (N^L) arttıkça bölgede sağlanan etkisiz hale getirme olasılığı artarken, toplam maliyet de artacaktır. Benzer bölge hava savunma sistemleri incelendiğinde 1 bataryanın taşıyabileceği lançer sayılarının değiştiği görülmüştür. Benzer sistemlerin bataryalarındaki lançer sayıları minimum 3 ve maksimum 8 arasında değişmektedir. Bu nedenle yapılan çalışmada lançer

sayılarının [3,8] aralığı için deęiőeęi göz önüne alınarak çözümler gerçekleştirilmiştir.

Yukarıda verilen parametrelere göre optimizasyon kodu 5'er kez çalıştırılacak şekilde deneme yapılmış ve sonuçlar elde edilmiştir.

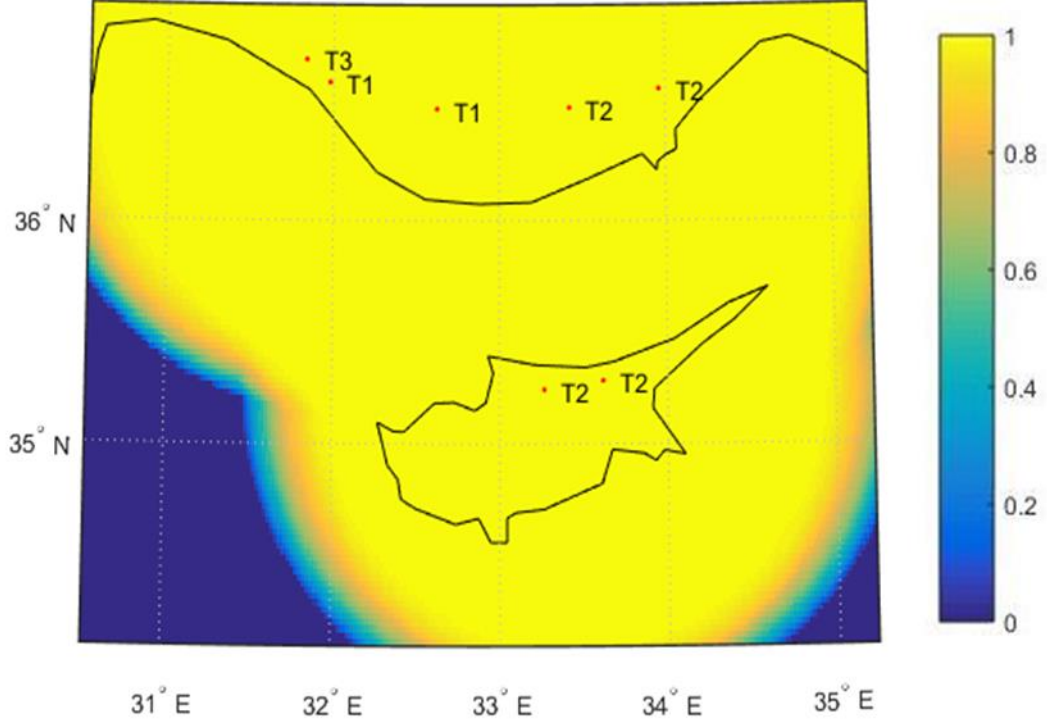
Toplam 1471 farklı noktada sonuç elde edilmiş, fakat bunlardan 28 adedi bulunan $y = f(x) \equiv \begin{bmatrix} -P \\ M \end{bmatrix}$ amaç fonksiyonu değerleri nedeni ile diğer çözümlerce domine edilmediğinden seçilmiştir.

Pareto kümesindeki bu sonuçlara göre yerleşim görsellerinden bazıları Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te verilmiştir. T1, T2, T3, T4 ve T5 yerleştirilen lançerlerin konfigürasyonlarını göstermektedir.

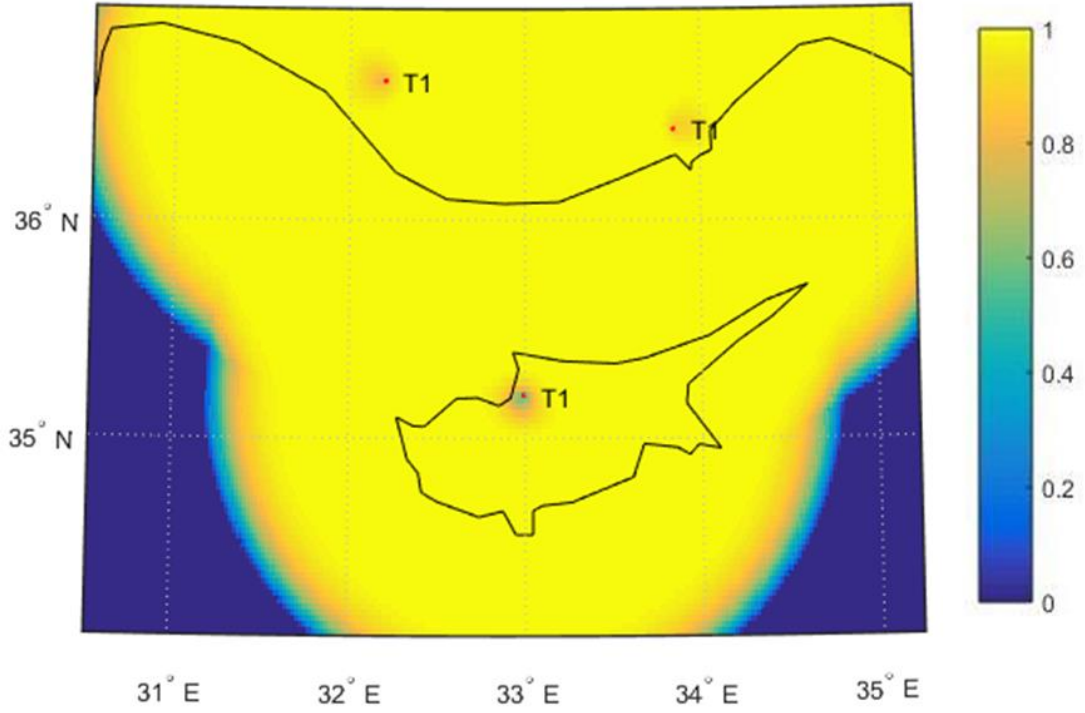


Şekil 4.2 : 8 Adet Lançerin Optimum Yerleşim Sonucu

Şekil 4.2'ye baktığımızda uzun menzilli füze tiplerini aralıklı olarak konuşlandırıldığını, yakınlarına etkinliğin artırılması için kısa menzilli füze eklendiğini görüyoruz.



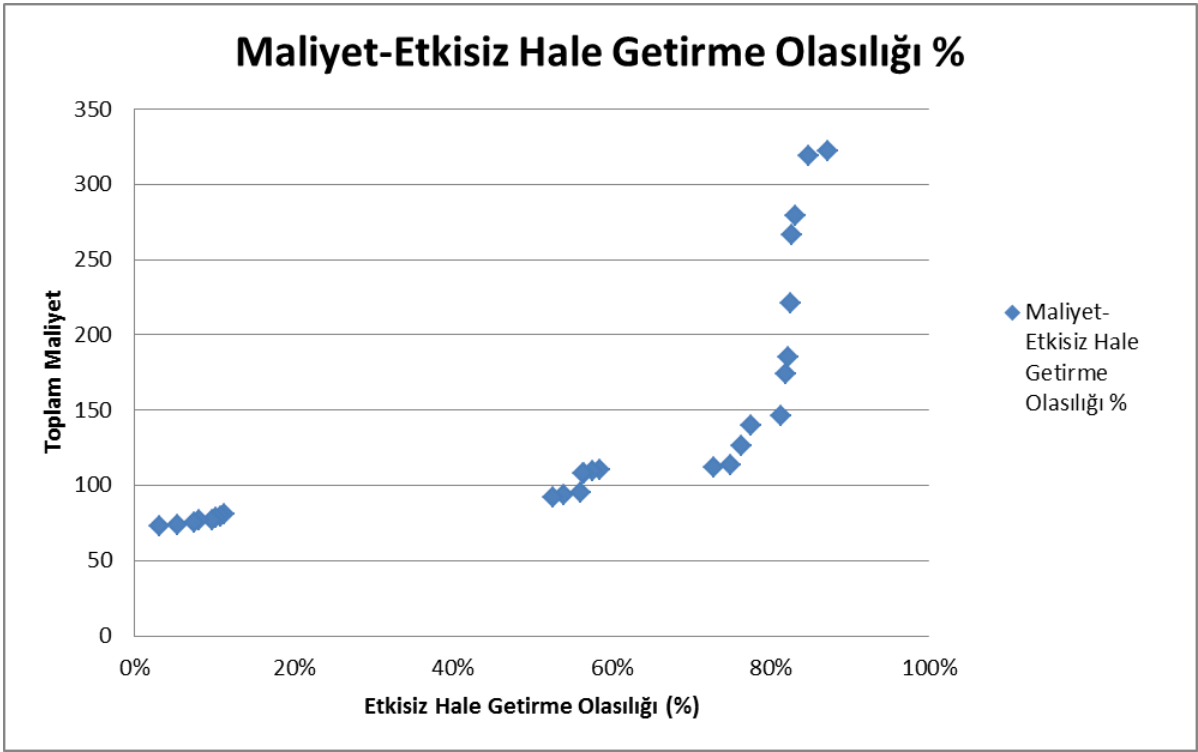
Şekil 4.3 : 7 Adet Lançerin Optimum Yerleşim Sonucu



Şekil 4.4 : 3 Adet Lançerin Optimum Yerleşim Sonucu

Şekil 4.4'te verilen 3 adet lançerin konuşlanmasına bakılırsa lançer sayısı arttıkça bölgedeki etkisiz hale getirme olasılığını artırmak için uzun menzilli füze konfigürasyonları tercih edildiği görülmüştür.

28 adet domine deneme sonuçlarına ait yerleştirilen lançer sayısı, Etkisiz hale getirme olasılığı, maliyet ve lançer konfigürasyon bilgileri Çizelge 4.2'de verilmiştir. Deneme sonuçlarında, ortalama etkisiz hale getirme olasılığı %50'den düşük olan sonuçlar bölge güvenliği seviyesi açısından çok düşük olduğu için karar verici tarafından elenecek olan sonuçlardır. Tüm sonuçların dağılımları Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Bulunan domine sonuçların çoğu 3 adet lançer için olan sonuçlar olup, daha fazla lançer yerleştirildiğinde toplam etkisiz hale getirme olasılıkları ve maliyetlerin arttığını görüyoruz. 3 lançer yerleştirildiğinde ulaşılan en yüksek etkisiz hale getirme oranı yaklaşık %81 iken, 8 lançerle bu seviye %87'ye çıkmakta fakat maliyeti 2 katına çıkmaktadır.



Şekil 4.5 : Maliyet - Etkisiz Hale Getirme Olasılığı (%) Dağılımları

Çizelge 4.2 : Domine Deneme Sonuçları

Set	Lançer Sayısı	Etkisiz hale getirme Olasılığı	Maliyet (pb)	Yerleştirilen Lançerlerin Konfigürasyonları
637	8	87%	322	T1, T2, T5, T5, T4, T1, T2, T2
566	7	85%	319	T3, T2, T1, T1, T2, T2, T2
596	7	83%	279,4	T1, T1, T2, T2, T5, T5, T3
505	7	83%	266,8	T1, T1, T2, T2, T5, T5, T3
455	6	83%	221,4	T2, T5, T3, T1, T2, T5
117	4	82%	185,6	T2, T1, T1, T4
13	3	82%	174	T1, T1, T1
4	3	81%	146	T1, T2, T2
93	3	78%	140,2	T5, T1, T1
94	3	76%	126,2	T5, T1, T2
29	3	75%	113,6	T4, T2, T2
27	3	73%	112,2	T2, T2, T5
78	3	59%	110,6	T1, T4, T3
21	3	58%	109,2	T4, T1, T4
30	3	57%	107,8	T5, T1, T4
53	3	56%	107,8	T5, T1, T4
57	3	56%	95,2	T4, T2, T4
38	3	54%	93,8	T4, T2, T5
92	3	53%	92,4	T5, T2, T5
36	3	11%	81	T3, T3, T3
50	3	11%	79,6	T4, T3, T3
55	3	10%	78,2	T4, T4, T3
80	3	10%	76,8	T4, T4, T4
87	3	8%	76,8	T3, T4, T5
59	3	8%	75,4	T4, T4, T5
52	3	5%	74	T5, T4, T5
31	3	3%	72,6	T5, T5, T5

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde son yıllarda savunma sanayiye yapılan yatırımlar oldukça artmıştır. Gerek Türkiyenin bulunduğu coğrafi bölge gerekse bölgede yaşanan gelişmeler nedeni ile tüm ülkeler için öneme sahip olan hava savunma sistemlerinin önemi ülkemiz için daha da artmıştır.

Hem yerli çözümler hem de yabancı çözümler ile birlikte envantere katılan/katılması planlanan bu sistemlerin sadece envanterde olması değil, etkin caydırıcılık ve yüksek güvenlik sağlamak amacı ile doğru sınıflandırılıp konumlandırılması da önemlidir.

Bu çalışmada, maliyet ve (-) etkisiz hale getirme olasılığı (P_k) etmenleri enküçüklenerek silah çeşitlerinin tahsisi ve yerleşim optimizasyonu amaçlanmıştır. Çalışmada yapılan analizler sonucu sezgisel yöntemler üzerinde yoğunlaşmıştır. Tek bir lançerin yerleştirilmesi durumunda kısıtın aldığı değerler ve dağılımı incelenmiş, problem kısıtının karakteristiğinin ancak Monte-Carlo analizi yapılarak belirlenebileceği görülmüştür.

Farklı lançer konfigürasyonları belirlenerek yerleşim kısıtları altında karar vericiye toplam maliyet ve güvenlik seviyesi sonuçlarını içeren çözüm kümesi sunacak şekilde amaç fonksiyonu ve kısıtlar oluşturulmuştur. Sezgisel yöntem olarak MOFEPSO (Olurluğu Arttırılmış Parçacık Sürü Optimizasyonu) Algoritması kullanılmış ve problem kodlanarak MATLAB ortamında çözülmüştür.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde lançer sayısı arttıkça maliyetlerin de arttığını, belli bir sayıdan sonra güvenlik düzeyi çok az artarken maliyetlerin dramatik bir şekilde artmaya devam ettiği görülmüştür. Maliyet - etkisiz hale getirme olasılığı dağılımını incelediğimizde olasılık geçişleri arasında boşluklar olduğunu görülmüştür. Farklı lançer konfigürasyonları ve füze tipleri de çalışmaya dahil edilirse farklı alternatifli sonuçlar elde edilebilecektir.

Çalışma, envanterde bulunan sistemler ile gelebilecek olası tehditlere karşı belirlenen coğrafi bölgelerde etkili bir savunma sağlayabilmek için, kaynakların doğru yönlendirilmesi ve yerleştirilmesi açısından maliyet etkin stratejik planlamaya yardımcı bir kaynak olarak kullanılabilir.

Bu çalışmada yaklaşım olarak ortaya konan yöntem farklı sistem unsurlarının da dahil edilmesi ile daha kapsamlı hale getirilebilir. Sunulan yöntem farklı amaç fonksiyonlarının varlığında ve kısıtlar altında bir yerleşim ve konfigürasyon seçim optimizasyonunun yapılabildiğini ortaya koymaktadır. Radar gibi farklı sistem unsurlarının eklenmesi ilave amaç fonksiyonları ve kısıtlar getirecek olmakla birlikte aynı yaklaşımla optimizasyon gerçekleştirilebilecektir.

Çalışmada karadan havaya savunma sistemleri ele alınmıştır. Türkiye'nin 3 tarafı denizlerle çevrili bir ülke olması nedeni ile deniz platformları için geliştirilen hava savunma sistemleri de çalışmaya dahil edilebilecektir.

Benzer parametreler göz önüne alınarak çekirdek savunma alanlarının(tesislerinin) savunma stratejileri için de konuşlanma çalışması yapılabilecektir.

Yapılan çalışmada performans özellikleri füzelerin sahip olduğu özelliklerden yola çıkılarak belirlenmiş olup, çalışmaya gelecek tehdidin tipi ve yönü de eklenerek hesaplamalara dahil edilebilecektir.

KAYNAKLAR LİSTESİ

- [1] Hakkı Arıs. "Türkiye'nin Hava Savunması: Genel Bir Bakış". *Savunma ve Havacılık*, 1992.
- [2] Orhan Karasakal. "Air defense missile-target allocation models for a naval task group". *Computers & Operations Research*, sy 35 (2008): 1759-70.
- [3] Leibowitz, Martin L., ve Lieberman, Gerald J. "Optimal Composition and Deployment of a Heterogeneous Local Air-Defense System". *Operations Research*, sy 8 (1960): 324-37.
- [4] Gerald Brown, Matthew Carlyle, Douglas Diehl, Jeffrey Kline, ve Kevin Wood. "A Two-Sided Optimization for Theater Ballistic Missile Defense". *Operations Research*, sy 53 (2005): 745-63.
- [5] YB Yoon, GB Kim, ve BJ Jeong. "Decision Making Support Model for Optimal Location of Anti-Ballistic Missile", 1715-21. KoreanScience, 2006.
- [6] J.Y. Lee, ve K.H. Kwak. "The Optimal Allocation Model for SAM Using Multi-Heuristic Algorithm: Focused on Theater Ballistic Missile Defense". *IE Interfaces* 21, sy 3 (2008): 262-73.
- [7] J.K. Kim, ve H.J. Seol. "The Optimal Deployment Problem of Air Defense Artillery for Missile Defense". *J. Soc. Korea Ind. Syst. Eng*, sy 39 (2016): 98-104.
- [8] YH Lee, ve Nam SE. "A Study on Optimal Allocation of Short Surface-to-Air Missile". *Journal of the Military Operations Research Society of Korea (MORS-K)*, sy 26 (1) (2000): 34-36.
- [9] SB Kim. "A study on Optimal Allocation Model for SAM-X by using Set Covering Model", 2003.
- [10] Jung, C.Y., J.Y. Lee, ve S.H. Lee. "An Optimal Missile Allocation Problem for Maximizing Kill Probability". *Journal of the Korean Operations Research and Management Science Society* 27, sy 1 (2010): 75-90.
- [11] Baek, J.U., Lee S.H, "Efficient Simulated Annealing Algorithm for Optimal Allocation of Additive SAM-X Weapon System". *IE Interfaces* sy 18 (2005): 370-381.
- [12] Jeong, C.Y. ve Lee, J.Y. "IP모형을 이용한 패트리엇 미사일 최적배치 모형" (*Ing. Optimal Deployment Model for Patriot Missile Using IP*) , 38-50, 2005.

- [13] Zhou A, Qu B-Y, Li H, Zhao S-Z, Suganthan PN ve Zhang Q, Multiobjective evolutionary algorithms: A survey of the state of the art, *Swarm Evol Comput*, 1(1), 32–49, 2011.
- [14] Coello Coello CA, Theoretical and numerical constraint-handling techniques used with evolutionary algorithms: a survey of the state of the art, *Comput Methods Appl Mech Eng*, 191(11–12), 1245–87, 2002.
- [15] Mezura-Montes E, Coello CAC, Constraint-handling in nature-inspired numerical optimization: Past, present and future, *Swarm Evol Comput*, 1(4), 173–94, 2011.
- [16] Eberhart RC, Kennedy J, A new optimizer using particle swarm theory, *Proceedings of the sixth international symposium on micro machine and human science*, New York, NY; p. 39–43, 1995.
- [17] Bratton D, Kennedy J, Defining a Standard for Particle Swarm Optimization, *2007 IEEE Swarm Intelligence Symposium*, p. 120–7, 2007.
- [18] Mehmet Sinan HASANOĞLU. “An Advanced Evolutionary Programming Method For Mechanical System Design: Feasibility Enhanced Particle Swarm Optimization”. Doktora, ODTÜ, 2019.
- [19] Google Earth, 11 Eylül 2019 “<http://maps.google.co.kr>.”
- [20] Shooman, M.L. *Probabilistic Reliability, An Engineering Approach*. New York: McGraw-Hill Book Co., Inc., 1968.
- [18] “Coğrafi Koordinatlardan Kartezyen Koordinatlara Çevrim”. 12 Eylül 2019,, http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/ormanamenajmani_99bb0.pdf.

EK 1 : Kısıtlar MATLAB Kodu

```
function [ C ] = constraint( X, config )
%CONST Constraint fonksiyonu yerleşim problemi için kullanılır.
% Karar vektörü X'e göre constraint fonksiyonu hesaplanır.
% Bu fonksiyon, yerleştirilen lançerin izin verilen yerleşim bölgelerinden
% (poligonlardan)ne kadar uzak olduğunu hesaplar. Poligonlar ve sınırları
% konfigürasyonda tanımlanmıştır.
%
% Girdiler:
%   X: karar değişkeni.
% Çıktı:
%   C: kısıt vektörü. [Nx1]dizisi N (lançer sayısı kadar) kısıt içerir.
%   Eğer negatif iste kısıt sağlanmış olur.
%   Aksi halde kısıt sağlanmaz ve ne kadar büyükse sapma da o kadar
%   fazladır.

% konfigürasyon yapısından gerekli parametre bilgilerini alır.
num_of_launchers = config.num_of_launchers;
utmstruct = config.utmstruct;
allowed_polygons_trans = config.allowed_polygons_trans;

% poligon sayısını alır
n_polygons = numel(allowed_polygons_trans);

% lançer konumlarını kartezyen koordinat sistemine çevirir.
[x,y] = mfwdtran(utmstruct,X((num_of_launchers+1):(2*num_of_launchers)),...
    X((2*num_of_launchers+1):(end)));

% başlangıç kısıt vektörünü oluşturur. Her bir elemana sonsuz değer atanır
C = inf*ones(num_of_launchers,1);

% lançerlerin her bir poligona olan uzaklığı hesaplanır
for i=1:n_polygons
```

```
polygon_trans = allowed_polygons_trans{i};
% d_min is an array number of elements equal to number of launchers
d_min = p_poly_dist.p_poly_dist(x, y, polygon_trans(:,1), ...
    polygon_trans(:,2), true);
% her bir lançer için sadece en yakındaki poligona olan uzaklığı ile
% ilgileniyoruz. Eğer bir lançer poligonun içindeyse d_min negatif
% olacaktır. Böylece en yakın poligona uzaklık negatif bir değer olarak
% kısıt sağlanmış olacaktır.
% NOT: kısıtın sağlanması için '0'a eşit ya da küçük olmalı
C = min(C,d_min);
end

end
```

EK 2: Yerleşim Etkinlik Hesapları MATLAB Kodu

```
function [ Y ] = eff_01( X, config )
%EFF füze yerleşiminin etkinliğini hesaplamak için kullanılır.
%
% Girdiler:
%   X: Karar değişkeni. [1x3N] elemandan oluşan bir dizidir.
%       elemanları:lançer konfigürasyonları, lançerlerin enlem&boylamları.
%       N=lançer sayısı.N=3 için dizi yapısı şöyle olacaktır:
%       [tip1 tip2 tip3 enlem1 enlem2 enlem3 boylam1 boylam2 boylam3]
%       enlem1, ilk lançerin yerleştirildiği enlemi gösterir.
%       lançer tipleri tamsayıdır ve problemde tanımlı verilen
%           konfigürasyonlarında tanımlı olanlardan seçilir.
%       config: problem tanımında verilen konfigürasyonlardır.
%
% Çıktı:
%   Y: amaç vektörü. [3x1] dizi yapısı aşağıdaki gibidir:
%       Y = [ortalama etkisiz hale getirme olasılığı; maliyet]

% Konfigürasyon yapısından gerekli (enlem, boylam, enlem ve boylamın
% bölüneceği sayılar,lançer sayıları ve konfigürasyonları,füze tiplerinin
% etkisiz hale getirme olasılık hesapları) parametreleri alır
latlim = config.latlim;
lonlim = config.lonlim;
latsize = config.latsize;
lonsize = config.lonsize;
min_eff_treshold = config.min_eff_treshold;
num_of_launchers = config.num_of_launchers;
launcher_config = config.launcher_config;
pk_func = config.pk_func;

% Enlem ve boylamdan bölünecekleri hücrelere göre kafes(ızgara) yapısını
% oluşturan matrisi oluşturur.
```

```

R = georefcells(latlim,lonlim,[latsize lonsize]);

% ızgaradaki her bir hücreyi gösteren dizi
% (x(i,j), y(i,j)) bir hücreyi gösterir.
[x,y] = meshgrid(1:lonsize,1:latsize);
% ızgaradaki her bir hücrenin coğrafi pozisyonu
[lat,lon] = R.intrinsicToGeographic(x,y);

% Maliyet hesabı
cost = 0;
for k=1:num_of_launchers
    this_launcher_config = launcher_config(X(k));
    cost = cost + this_launcher_config.cost;
end

%*****
% Etkinlik (etkisiz hale getirme olasılık) çıktıları hesaplanır
%*****

%Başlangıç toplam etkinlik değeri
total_eff = 0;
% Başlangıç maksimum etkinlik
max_eff = -inf;
% Başlangıç minimum etkinlik
min_eff = inf;
% etkin olmayan (etkisiz hale getirme olasılığı '0' olan hücre sayısı
% başlangıç değeri
num_ineffective = 0;

for i=1:latsize
    for j=1:lonsize
        %Her bir hücre için döngü

        % ters etkinlik başlangıç değeri(1-pk)yani başarısızlık değeri

```



```

p_inv = 1;

% ilgili hücrenin enlem ve boylamı
cell_lat = lat(i,j);
cell_lon = lon(i,j);

%her bir lançer için
for k=1:num_of_launchers
    %karar vektöründen lançer konfigürasyonu alınır
    this_launcher_config = launcher_config(X(k));

    % karar vektöründen lançer konumu/pozisyonu alınır
    missile_lat = X(num_of_launchers + k);
    missile_lon = X(2*num_of_launchers + k);

    %Mevcut hücre ile lançer arasındaki uzaklık hesabı
    dist = distance(cell_lat,cell_lon,missile_lat,missile_lon);
    dist = deg2km(dist);

    %lançerdeki füzelerin toplam başarısızlık değeri hesabı
    % ve hücrenin başarısızlık değeri ile birleşimi
    for l=1:size(this_launcher_config.missiles,1)
        p = pk_func(dist,this_launcher_config.missiles(l,1));
        p_inv = p_inv*((1-p)^this_launcher_config.missiles(l,2));
    end
end

% hücrenin toplam etkisiz hale getirme olasılığı
p = 1 - p_inv;

% minimum ve maksimum etkisiz hale getirme olasılık değerleri
% güncellenir
max_eff = max(p,max_eff);
min_eff = min(p,min_eff);

```

```

% hücrenin etkisiz hale getirme olasılık değeri toplam etkisiz hale
% getirme olasılığına eklenir
total_eff = total_eff + p;

% eğer hücrenin etkisiz hale getirme olasılığı çok düşükse 1 artır
if p < min_eff_treshold
    num_ineffective = num_ineffective + 1;
end
end
end

% coğrafi bölgenin ortalama etkisiz hale getirme olasılığını hesaplar
p_ave = total_eff / (latsize*lonsize);

Y = [-p_ave; cost];
% Not: problem bir enküçükleme optimizasyonu olarak ele alındığı için
% p_ave olumsuzlanan değer olarak kullanılmıştır
end

```