

**T. C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Mühendislik Yönetimi Bilim Dalı

**BALİSTİK FÜZELERE KARŞI SAVUNMA
SİSTEMİNDE ETKİLİLİK**

Yüksek Lisans Tezi

Orhan AKZADE

Danışman
Prof. Dr. Kenan ÖZDEN

İstanbul – 2022

TEZ TANITIM FORMU

- YAZAR ADI SOYADI** : Orhan AKZADE
- TEZİN DİLİ** : Türkçe
- TEZİN ADI** : Balistik Füze Savunma Sisteminde Etkililik
- ENSTİTÜ** : İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
- ANABİLİM DALI** : Endüstri Mühendisliği
- TEZİN TÜRÜ** : Yüksek Lisans
- TEZİN TARİHİ** : 10.01.2023
- SAYFA SAYISI** : 71
- TEZ DANIŞMANLARI** : Prof. Dr. Kenan ÖZDEN
- DİZİN TERİMLERİ** : Balistik Füzelere Karşı Savunma Sistemi, Atış İlkeleri, Salvo, Atış-Bak-Atış, Etkililik, Etkisizleştirme Olasılığı.
- TÜRKÇE ÖZET** : Bu çalışmada, iki atış ilkesi olan “Salvo” ve “ABA” durumlarında önleme aşamasının etkililiği irdelenerek BFKSS'nin etkililiği değerlendirilmiştir. Etkililik araştırması, kullanılan sistem tipine bakılmaksızın genel olarak yapılmıştır, çünkü sistem tipinin belirlenmesi en sonda elde edilen kesin sonuçları etkilemez; ayrıca bu araştırma, füze önleme sürecinin en uzun, en uygun ve en yaygın olarak kullanılan önleme aşaması olması nedeniyle, balistik füze yörüngesinin balistik aşamasında gerçekleştiği gerekçesiyle yapılmıştır. Bu nedenle çalışma, uçuş aşamaları tamamen atmosferin içinde gerçekleşen balistik füzeleri değil, dış atmosferde gerçekleşen balistik aşamaları içermektedir.
- DAĞITIM LİSTESİ** : 1. İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne
2. YÖK Ulusal Tez Merkezine

İmzası
Orhan AKZADE

T. C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Mühendislik Yönetimi Bilim Dalı

BALİSTİK FÜZE SAVUNMA SİSTEMİNDE ETKİLİLİK

Yüksek Lisans Tezi

Orhan AKZADE

Danışman
Prof. Dr. Kenan ÖZDEN

İstanbul – 2022

BEYAN

Bu tezin hazırlanmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez olarak sunulmadığını beyan ederim.

Orhan AKZADE

... / ... / 2022



İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Ubayda AL HALLAK'ın İstanbul Gelişim Üniversitesinde "Balistik Füze Savunma Sisteminde Etkililik" adlı tez çalışması, jürimiz tarafından Endüstri Mühendisliği anabilim dalı, Mühendislik Yönetimi bilim dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan
İmza
Prof. Dr. Ramazan YAMAN

Üye
İmza
Prof. Dr. Kenan ÖZDEN
(Danışman)

Üye
İmza
Doç. Dr. Tarık ÇAKAR

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

... / ... / 2023

İmzası
Prof. Dr. İzzet GÜMÜŞ
Enstitü Müdürü

ÖZET

Balistik füzelerin yaygınlaşmasına paralel olarak Balistik Füzelere Karşı Savunma Sistemi (BFKSS)'nin geliştirilmesi üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmektedir. BFKSS'nin ana görevi; stratejik ve yaşamsal öneme sahip kuruluşların, balistik saldırı tehlikelerine karşı savunulmasıdır.

ABD'nin uzun menzilli balistik füzeleri test eden İran, Kuzey Kore ve bazen de Rusya gibi ülkeleri kınadığı haber bültenlerinde sıkça dolaşan bazı haberlere ek olarak, Lewis'in makalesinde sunduğu füzelerin etkililiği hakkındaki çelişkili görüşlerin ışığında BFKSS'nin etkililiği, fizibilitesi ve tasarlandıkları ana görevi başarma yetenekleri ile ilgili olarak çok önemli bir soru ortaya çıkmaktadır.

BFKSS, esas olarak değişik fazlarda balistik füzenin saptanması ve rotasının belirlenmesinden sonra önleyici füzelerin fırlatılmasına dayanmaktadır. Bu önleyici füzeler balistik füzeden daha hızlıdır, ona göre daha hızlı yanıt verir ve boyut olarak da ondan daha küçüktür. Manevra yapma kabiliyetine sahip olup gerektiğinde fırlatılmasının ilk periyodunda bir yer kontrol istasyonundan yönlendirilebilir. Bu önleyici füzeler, ülkenin stratejik hedeflerini korumak için balistik füzeleri vurma ve etkisiz hale getirme amacı üzerine kuruludur; önleyici füzelerin fırlatılması iki yöntemden biriyle gerçekleştirilir. 1. Salvo (Baraj ya da Yayılım ateşi), 2. Atış-Bak-Atış (ABA). BFKSS'nin değişik aşamalarından en önemlisi önleme aşaması olup bu aşama, BFKSS'nin en önemli evresi ve sistemin etkililiğinin belirlenmesine en büyük katkıyı sağlayan aşama olarak kabul edilir.

Bu çalışmada, iki atış ilkesi olan "Salvo" ve "ABA" durumlarında önleme aşamasının etkililiği irdelenerek BFKSS'nin etkililiği değerlendirilmiştir. Etkililik araştırması, kullanılan sistem tipine bakılmaksızın genel olarak yapılmıştır, çünkü sistem tipinin belirlenmesi en sonda elde edilen kesin sonuçları etkilemez; ayrıca bu araştırma, füze önleme sürecinin en uzun, en uygun ve en yaygın olarak kullanılan önleme aşaması olması nedeniyle, balistik füze yörüngesinin balistik aşamasında gerçekleştiği gerekçesiyle yapılmıştır. Bu nedenle çalışma, uçuş aşamaları tamamen atmosferin içinde gerçekleşen balistik füzeleri değil, dış atmosferde gerçekleşen balistik aşamaları içermektedir.

Bu çalışmanın ilk bölümünde füze etkililiğinin tanımı, önemi ve türleri sunulmuştur ve bu etkililiğin hesaplanması için ana adımlar formüle edilmiştir. Daha sonra BFKSS’de etkililik araştırılmış, bu etkililiği değerlendirmek için bir ölçek tanımlanmış ve ardından uygun matematiksel model oluşturulmuştur. Bu model daha sonra Excel programı kullanılarak simülasyon ve BFKSS’nin etkililiğinin analizine izin veren gerekli eğriler çıkarılarak çözülmüştür.

Bu çalışma sırasında Wilkening’in makalesinde göz ardı edilen Salvo yöntemi kullanılırken etkisizleştirme olasılığının rastgele değişken olduğu dikkate alınmıştır. ABA yönteminin kullanımına gelince, buradaki etkililik incelemesinde sistem ideal bir biçimde çalıştığı sayılmıştır ve matematiksel denklemlerden uzak simülasyon kullanılarak yapılmıştır.

BFKSS’nin etkililiğinin değerlendirilmesi sürecinde, iki atış yönteminin (Salvo-ABA) şu açılardan karşılaştırılması yapılmıştır: 1. Her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısı, 2. Sistemin etkililiği ve 3. Sistemin doyma noktası.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar, önleme yönteminin seçimi ve her balistik füzeye önleyicilerin atanması konusunda karar vericiyi desteklediğini, ayrıca karar vericinin BFKSS’yi kurma veya caydırıcı bir güç olarak balistik füze saldırı sistemi geliştirmeye devam etme kararı vermesinin önünü açabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Balistik Füzelere Karşı Savunma Sistemi, Atış İlkeleri, Salvo, Atış-Bak-Atış, Etkililik, Etkisizleştirme Olasılığı.

SUMMARY

In parallel with the proliferation of ballistic missiles, studies are carried out on the development of the Ballistic Missile Defense System (BMDS). The main function of BMDS is to defend strategic and vital organizations against the dangers of ballistic attacks.

In addition to some news frequently circulating in the news bulletins, in which the USA condemns countries such as Iran, North Korea and sometimes Russia that are testing long-range ballistic missiles, a very significant question comes up related to BMDS's effectiveness, feasibility and ability to achieve the main mission for which they are designed, in light of the conflicting views on the effectiveness of the missiles Lewis presented in his article.

BMDS is mainly based on the launch of interceptor missiles after the detection and route determination of the ballistic missile in different phases. These interceptor missiles are faster than the ballistic missile, have a faster response, and are smaller in size. It is capable of maneuvering and can be steered from a ground control station in the first period of its launch if necessary. These interceptor missiles are based on the purpose of hitting and neutralizing ballistic missiles to protect a country's strategic targets. The launch of interceptor missiles is carried out by using one of following methods: 1. Salvo (Barrage or Volley), 2. Shoot-Look-Shoot (SLS). Intercepting phase of BMDS is considered the most important phase of BMDS, which makes the biggest contribution to determining the effectiveness of the system.

In this study, the effectiveness of the BMDS has been evaluated by examining the effectiveness of the prevention phase in "Salvo" and "SLS" situations, which are the two launching methods. The effectiveness research has been conducted in general regardless of the type of system used because the determination of the type of system does not affect the final results. Moreover, this study has been conducted on the grounds that the missile interception process takes place in the ballistic phase of the ballistic missile trajectory, as it is the longest, most convenient and most widely used interception phase. For this reason, the study includes the ballistic stages that take place in the outer atmosphere, not the ballistic missiles whose flight stages take place entirely in the atmosphere.

In the first part of this study, the definition, importance and types of missile effectiveness have been presented and the main steps for calculating this effectiveness have been formulated. Later, the effectiveness of the BMDS has been examined, a scale has been developed to evaluate this effectiveness, and then an appropriate mathematical model has been created. This model has been solved using the Excel program by extracting the necessary curves that allows the simulation and analysis of the effectiveness of BMDS.

For this study, it has been taken into account that the neutralizing probability is a random variable when using the Salvo method, which was ignored in Wilkening's article. As for the use of the SLS method, the effectiveness examination here has been made using simulation rather than mathematical equations and the system was deemed to work ideally.

In the process of evaluating the effectiveness of BMDS, the two launching methods (Salvo - SLS) have been compared in terms of: 1. The number of interceptors allocated for each target, 2. The effectiveness of the System, and 3. The saturation point of the System.

The results obtained from the study support the decision maker in the choice of interception method and interceptors allocated to each ballistic missile and pave the way for the decision maker to take a decision whether to establish BMDS or continue to develop an arsenal of ballistic missiles as a deterrent force.

Keywords: Ballistic Missile Defense System, Firing Principles, Salvo, Shot-Look-Shoot, Effectiveness, Probability of Kill.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
SUMMARY	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
ÖNSÖZ.....	x
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM BALİSTİK FÜZE SAVUNMA SİSTEMLERİYLE İLGİLİ KAVRAMLAR VE ETKİLİLİK YAKLAŞIMLARI

1.1. Füzelerin Genel Sınıflandırması	6
1.2. Balistik Füzelerle İlgili Temel Bilgiler.....	7
1.2.1. Menziline göre balistik füzelerin türleri	7
1.2.2. Balistik füzelerin yörüngesi	8
1.3. Yarı-Balistik Füze.....	10
1.4. Balistik Füze Savunma Sistemi (BFKSS)	11
1.5. Önleme Aşamasına Göre BFKSS.....	12
1.5.1. Fırlatma öncesi önleme:.....	12
1.5.2. Fırlatma aşamasında önleme:	12
1.5.3. Balistik aşamasında önleme.....	13
1.5.4. İniş aşamada önleme:.....	13
1.6. Önleyicinin Konuşlandırılmasına Göre BFKSS:.....	13
1.6.1. Yer üstünde konuşlandırılan önleyici:	13
1.6.2. Denizde konuşlandırılan önleyici:	14
1.6.3. Hava aracı ile taşınan önleyici:.....	14
1.6.4. Uzayda konuşlandırılan önleyici:	14
1.7. Etkisizleştirme Yöntemine Göre BFKSS:	14
1.8. Sensörlere Göre BFKSS	15
1.9. BFKSS’de Atış İlkeleri.....	15
1.10. BFKSS’nin Zorlukları	16
1.11. Etkililik	16
1.11.1. Güvenilirlik.....	17
1.11.2. Sürdürülebilirlik.....	17
1.11.3. Yetenek.....	17
1.11.4. Dayanıklılık	18
1.11.5. Hazırlık	18
1.11.6. Özel Ölçüt.....	18
1.12. Etkililiğin Türleri.....	18
1.13. Etkililik Ölçüsü	18
1.14. Etkililik Hesaplama Adımları.....	19

İKİNCİ BÖLÜM

BALİSTİK FÜZE SAVUNMA SİSTEMİNİN ANALİZİYLE İLGİLİ UYGULAMA

2.1. Problemin Tanımlaması.....	21
2.2. Etkililik Değerlendirme Ölçüsü.....	21
2.3. Varsayımlar Belirlenmesi	22
2.4. Matematiksel Modelin Kurulumu	22
2.5. Modelin Çözümleme Yöntemi	24
2.6. Salvo Modelinde Benzetim Sonuçları	28
2.7. Atış-Bak-Atış Modelinin Benzetim Sonuçları	36
2.8. Atış-Bak-Atış ile Salvo İlkeleri Arasında Karşılaştırma	42
2.9. BFKSS mi Balistik Füze Balistik Füze Saldırı Sistemi mi	46
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	48
KAYNAKÇA	50
EKLER.....	53

KISALTMALAR

ABA	: Atış-Bak-Atış
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
BET	: Bütün Etkililik
BFKSS	: Balistik Füzelere Karşı Savunma Sistemi
ICBM	: Intercontinental Ballistic Missile
IRBM	: Inter-mediate Range Ballistic Missile
İHA	: İnsansız Hava Aracı
KABF	: Kıtalar Arası Balistik Füze
KMBF	: Kısa Menzilli Balistik Füze
MRBM	: Medium Range Ballistic Missile
OMBF	: Orta Menzilli Balistik Füze
SİMGE	: Sistem Mühendisliğine Göre Etkililik
SRBM	: Short Range Ballistic Missile
UMBF	: Uzun Menzilli Balistik Füze
UYET	: Uygulamalı Etkililik

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.	Füzelerin Genel Sınıflandırması	6
Tablo 2.	İlk Atıştaki Etkisizleştirme Olasılığı- Etkililik	29
Tablo 3.	Her Bir Hedef İçin Tahsis Edilen Önleyici Sayısı- Etkililik	30
Tablo 4.	Hücumda Kullanılan Harp Başlığı Sayısı – Etkililik (İlk atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K1=0,7$)	32
Tablo 5.	Hücumda Kullanılan Harp Başlığı Sayısı – Etkililik (İlk atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K1=0,8$)	33
Tablo 6.	Hücumda Kullanılan Harp Başlığı Sayısı – Etkililik (İlk atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K1=0,9$)	34
Tablo 7.	Etkililik- Her Bir Hedef İçin Tahsis Edilen Önleyici Sayısı (İlk atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K1=0,8$)	35
Tablo 8.	Tek atıştaki Etkisizleştirme Olasılığı- Etkililik	36
Tablo 9.	Her Bir Hedef İçin Tahsis Edilen Önleyici Sayısı – Etkililik	37
Tablo 10.	Hücumda Kullanılan Harp Başlığı Sayısı – Etkililik. (Tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K=0,7$)	38
Tablo 11.	Hücumda Kullanılan Harp Başlığı Sayısı – Etkililik. (Tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K=0,8$)	40
Tablo 12.	Hücumda Kullanılan Harp Başlığı Sayısı – Etkililik. (Tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K=0,9$)	41
Tablo 13.	Etkililik- Her Bir Hedef İçin Tahsis Edilen Önleyicinin Sayısı. (Tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K=0,8$)	42
Tablo 14.	Etkililiğe Göre Salvo ve ABA. (Tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K=0,8$, İlk atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K1=0,8$, Hücumda Kullanılan Harp Başlığı Sayısı: 1)	43
Tablo 15.	Etkililiğe Göre Salvo ve ABA. (Tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K=0,8$, İlk atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K1=0,8$, Her Bir Hedef İçin Tahsis Edilen Önleyici: 5)	44
Tablo 16.	Her Bir Hedef İçin Tahsis Edilen Önleyici Sayısına Göre Salvo ve ABA. (Tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K=0,8$, İlk atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K1=0,8$, Beklenen Hücum Hacmi: 50)	45
Tablo 17.	ABA ile Salvo Karşılaştırma	46

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.	Balistik Füzenin Yörüngesi	8
Şekil 2.	Balistik Füzenin Uçuş Aşamaları.....	10
Şekil 3.	BFKSS - Toplu Bakış	12
Şekil 4.	İlk Atıştaki Etkisizleştirme Olasılığı – Sistemin Etkililiği	30
Şekil 5.	Her Bir Hedef İçin Tahsis Edilen Önleyici Sayısı – Etkililik	31
Şekil 6.	Hücumda Kullanılan Harp Başlığı Sayısı – Etkililik (İlk atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K1=0,7$).....	33
Şekil 7.	Hücumda Kullanılan Harp Başlığı Sayısı – Etkililik (İlk atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K1=0,9$).....	34
Şekil 8.	Etkililik- Her Bir Hedef İçin Tahsis Edilen Önleyici Sayısı (İlk atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K1=0,8$)	35
Şekil 9.	Tek atıştaki Etkisizleştirme Olasılığı- Etkililik	36
Şekil 10.	Her Bir Hedef İçin Tahsis Edilen Önleyici Sayısı – Etkililik	37
Şekil 11.	Hücumda Kullanılan Harp Başlığı Sayısı – Etkililik. (Tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K=0,7$).....	38
Şekil 12.	Hücumda Kullanılan Harp Başlığı Sayısı – Etkililik. (Tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K=0,8$).....	39
Şekil 13.	Hücumda Kullanılan Harp Başlığı Sayısı – Etkililik. (Tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K=0,9$)	41
Şekil 14.	Etkililik – Her Bir Hedef İçin Tahsis Edilen Önleyicinin Sayısı. (Tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K=0,8$)	42
Şekil 15.	Etkililiğe Göre Salvo ve ABA. (Tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K=0,8$, İlk atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K1=0,8$, Hücumda Harp Başlıkları: 1)	43
Şekil 16.	Etkililiğe Göre Salvo ve ABA. (Tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K=0,8$, İlk atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K1=0,8$, Her Bir Hedef İçin Tahsis Edilen Önleyici: 5)	44
Şekil 17.	Her Bir Hedef İçin Tahsis Edilen Önleyici Sayısına Göre Salvo ve ABA. (Tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K=0,8$, İlk atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K1=0,8$, Beklenen Hücum Hacmi: 50)	45
Şekil 18.	Her Bir Hedef İçin Tahsis Edilen Önleyici Sayısına Göre Salvo ve ABA. (Tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K=0,8$, İlk atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K1=0,8$, Beklenen Hücum Hacmi: 50)	46

ÖNSÖZ

Bu çalışmayı bana umut verip dualarını eksik etmeyen babama ve anneme ithaf ediyorum.

İlk görüşmemizden itibaren tereddüt etmeden bilgilerini paylaşan, bu alanı bana sevdiren, öğretmek ve yönlendirmek için hep yorum yapan, bu çalışmayı gerçekleştirirken beni sürekli destekleyen, kıymetli ve saygıdeğer Prof. Dr. Kenan ÖZDEN'e şükranlarımı minnettarlıkla takdim ederim. Bu arada lisansta ve yüksek lisansta ders veren hiç unutmadığım tüm hocalarıma saygılarımı sunuyorum. Saygılı ve yardımcı kadrosu ve yönetimi ile İstanbul Gelişim Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

İnsanları, hükümeti ve cumhurbaşkanı ile aziz Türkiye Cumhuriyetine şükranlarımı sunuyorum.

Çocuğuma ve hep yanımda olan eşime teşekkürlerimi sunarım.

Orhan AKZADE

GİRİŞ

Güdümlü seyir ve balistik füzeleri, ilk kez İkinci Dünya Savaşı sırasında kullanılmaya başlanmıştır. Bu dönemde Almanlar tarafından geliştirilen ‘V-1’ seyir füzelerinden ve ‘V-2’ balistik füzelerinden yararlanılmıştır. Bu füzeler, hedef noktasına ulaşmadan rotalarından sapmış olmalarına karşın müttefik devletlerin ağır kayıplar vermesine neden olmuştur. Birçok ülkenin balistik ve seyir füzeleri ile yakından ilgilenmesinin nedenini, hava araçlarının kullanılmasının mümkün olmadığı yerlerde ve düşmanın sahip olduğu ‘güçlü füze savunma sistemi’ yapısının oluşturduğu zorluklar ile karşılaştırıldığında düşmana karşı çok daha etkili bir biçimde kullanabilmeleriyle açıklayabiliriz. Balistik ve seyir füzeleri, insanlı hava araçları ile karşılaştırıldığında bu araçların maliyeti düşük; bakım, eğitim ve lojistik açılarından da kolaylıklarının bulunması, düşman üzerinde caydırıcı bir silah ve baskı aracı olması nedeniyle daha cazip silahlar oldukları görülmektedir. Üstelik bu füzeler kimyasal, biyolojik ve nükleer harp başlıkları ile donatılmaları sonucunda belirli bir düzeyde kullanıldıklarında ağır bir tahribata yol açabilmektedirler. Balistik füzelerin bu üstünlük ve özellikleri nedeniyle, ülkeler, balistik füze teknolojisine sahip olmak için çaba harcamaktadır (Seren, 2015).

Güçlü devletler ile balistik füzelerini geliştirmek için çalışan devletler arasındaki çatışma her geçen gün artmaktadır. (Egeli, 2014).

Aynı zamanda balistik füze savunma sistemleri, uluslararası ilişkilerin tartışmalı bir konusudur. Balistik füze savunma sistemlerinin etkililiğine zarar veren zorlukların bulunmasına karşın birçok ülke ve ordu doğal olarak bu sistemleri edinmek veya geliştirmek üzere çalışmaya başlamışlardır. Balistik füze savunma sistemlerinde yaşanan bazı sorunlara karşın bu sistemlerin edinilmesinde sembolik ve gösterişli bir amaç mevcut olabilmektedir. (Bowen, 2009).

Burada şu önemli sorular ortaya çıkmaktadır: “Bu savunma sistemleri, balistik füzelere karşı ne derecede etkilidir?” “BFKSS etkili mi, etkili değil mi?” Ancak bu tarz soruların verilebilecek basit bir yanıtı yoktur. Çünkü bu soruların yanıtı; saldırı çeşidi, füze yapısı, saldırı koşulları ve başarı veya başarısızlığı belirleyen ölçüt gibi

çeşitli etkenlere dayanır. Söz konusu sistemin etkili olduğunu ve etkili olmadığını savunan iki zıt görüş vardır. Bu farklı görüşlerin ortaya çıkmasının nedenleri şunlardır; bu alanda kullanılan sistemlerden bazıları gerçek bir savaşa katılmamıştır ancak yapılan denemelerde ön planlama yapılmış ya da kısmi olarak test edilmiştir. Bu konuda eldeki bilgilerin ve bulguların miktarı oldukça azdır. (Lewis, 2017) Savaşın da rastgele bir harekât olduğu kabul edilmiştir. (Green ve Stracener, 2019)

Ek olarak Demir Kubbe ve Patriot gibi bazı sistemlerin gerçek bir savaştan çıkardığı bilgiler, daha önceden açıkça belirtilmiş olup beklenilenden farklı bir sonuç ortaya çıkmıştır. (Wilkening, 1998; Lewis ve Postol, 2000; Lewis, 2017).

Bu arada sistemin amaçlarına ne kadar ulaşabileceğini netleştiren “etkililik” terimi önem taşımaktadır. Sistemin etkililiğinin tanımı, ögeleri, ölçüsü ve hesaplama yöntemi çok önemli olup bunlar, sistemin başarılı çalışması ve geliştirilmesi ile ilgili oluşabilecek çeşitli sorulara yanıt verebilecektir.

Araştırmanın Önemi

Ülkemiz son günlerde savunma sanayinde gerçekleştirilen atılımlara tanık olmaktadır. Bu alandaki gelişmelere, savunma sanayinden çıkan füze savunma sistemi ve füzelerin kendileri bizzat örnektir. Bu konunun önem taşımalarının nedeni, bu çalışmanın konusu olan balistik füze savunma sisteminin etkililiği ve ana görevini tam bir biçimde tamamlaması gibi ögelerin ele alınacak olmasıdır.

Öte yandan yer üstü önleme amaçlı sistemler dikkate alınırsa, bu sistemler, uzun menzilli balistik füzeler için uygun bir seçenektir ve her bir ülke için uyarlanabilir. Üstelik bu sistemler, ülkenin kendi toprağında konuşlanacağından daha güvenlidir ve uluslararası bir soruna neden olmaz.

Araştırmanın Amacı

Balistik füzelerin yaygınlaşmasının arka planında, Balistik Füze Savunma Sistemi (BFKSS) geliştirilmesi için çalışılırken şu önemli soru ortaya çıkıyor “Bu savunma sistemlerinin etkililiği ne ölçüdedir?”. Bu sorudan çalışmanın amaçları ortaya çıkmaktadır. Çalışmanın amaçları;

- BFKSS'nin etkililiğini ölçmek ve değerlendirmek için temeller ortaya koymaktır.

- BFKSS'nin salvo ve ABA atış ilkeleri arasında “her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısı”, “sistemin etkililiği” ve “sistemin doyma noktası” açılarından karşılaştırma yapmaktır.

Önceki Çalışmalar

BFKSS'nin etkililiğinin doğrudan ele alındığı makalelerin sayısı oldukça azdır. Araştırılan makalelerde bu konu ya dolaylı olarak ele alınmış ya da bazılarında ilgili konunun sunumu sırasında konuya değinilmiştir. Türkiye'nin Ulusal Tez Merkezi Veri Tabanında yayımlanan tezler tarandığında bu konuya rastlanılmamıştır.

Burada yalnızca bu konunun doğrudan ele alındığı çalışmalar belirtilecek olup, diğerlerine ise çalışmanın ilerleyen ayrımlarında yeri geldikçe değinilecektir.

Birincisi, Wilkening'e ilişkin “balistik füze savunmasının etkililiğini hesaplamak için basit bir model” konulu çalışmadır (Wilkening, 1998). Bu çalışmada;

- Basit olasılıklı bir model kullanılmıştır. Kullanılan modelin ögeleri (amaç fonksiyonu ve değişkenlerinin türü) bütün makalede dağıtılmış, standart biçime uymamıştır.
- Karar vericiler ve uygulayıcılar için oldukça yararlı bir modeldir.
- Bazı önemli eğriler çıkarılmıştır, bu eğrilerin çıkarılma yöntemi hiç açıklanmamıştır.
- Değişkenlerin rastgele olduğunun açıklanmasına karşın hesaplamının basitleştirilmesi için etkisizleştirme olasılığı tüm atışlar için sabit olarak sayılmıştır. Bu varsayıma göre: 1. Salvo ve ABA durumunda her bir hedef için gerekli olan önleyici sayısı belirlenmiştir, 2. Çok harp başlıklı saldırılar için sistemin etkililiğinin düzeyi ele alınmıştır.

Holland ve Wallace'a ait olan ikincisi çalışmada (Holland ve Wallace, 2011);

- Basitleştirilmiş bir model kullanılmıştır.
- Etkisizleştirme zincirinin modellemesinde “ajan tabanlı modelleme” yöntemi kullanılmış olup, bu yönteme göre sistemin her bir ögesi “ajan” olarak adlandırılmıştır.

- Modelleme ve benzetim için Netlogo yazılımı kullanılmıştır.
- Basit bir sistem olmasına karşın sistemin öğeleri arasındaki etkileşim gözlemlenmiştir.
- Sisteme rastgele değişkenlerin egemen olduğu açıklanmıştır.
- Etkililikten doğrudan söz edilmemiş ancak iki eğri sunulmuştur. Bu iki eğri etkililik için bir gösterge niteliği taşımaktadır.
- Makalede modelin nasıl oluşturulduğunun ve rakamların nereden alındığının bilgisi bulunmamaktadır.

Üçüncü çalışmada (Jian, Qiwan ve Weiping, 2015);

- BFKSS, sistemlerin sistemi olarak ele alınmıştır.
- “İşlevsel bağımlılık ağının analizi” olarak belirtilen yöntem kullanılmıştır. Bu yöntem ile sistemin tüm parçalarına bakılarak model kurulmuştur.

Dördüncü çalışmada ise (Lewis, 2017):

- Uzun menzilli balistik füzeye karşı “balistik-aşama” savunma sistemi incelenmiştir.
- Nitelik olarak ileri sürülmüştür. Oysa ABD balistik füze savunma sisteminin etkililiğinden söz edilirken hem destekleyici hem de eleştireci düşünceler özet olarak verilmiş, her iki tarafın dayanaklarının nedenlerine ve gerekçelerine göndermede bulunulmuştur.
- Makalede sistemin test edilmesi sonucu elde edilen verilere dayanılarak şu önemli nokta dikkat çekmiştir: Bu testler bilgisayar benzetmesinin sonuçlarını doğrulamak üzere tasarlanmıştır. Ancak eleştirenler, yapılan testlerin gerçek bir savaşla kıyaslanamayacağını belirtmişlerdir. Destekleyenler ise bu testlerin gerçek savaşın bir yüzünü oluşturduğu bilgisini vermişlerdir.

Bu çalışmada: 1. Etkililik kavramı BFKSS'ye uygulanmış, 2. ABA ve salvo durumunda etkililik hesaplanması için model açık bir biçimde düzenlenmiştir, 3. Salvo modeli etkisizleştirme olasılığının, rastgele bir değişken olduğu kabul edilerek kurulup benzetim yapılmıştır, 4. Salvo ve ABA arasında kıyaslama yapılmıştır ve 5. Kıyaslamada doyma noktası dikkate alınmıştır.

Araştırmanın Varsayımları

Bu çalışmada araştırılacak sistemin şu özellikleri varsayılmaktadır: 1. Önleyici konuşlandırılması: Yer üstünde, 2. Önleme aşaması: Balistik aşaması.

Buna ek olarak önlenecek balistik füzelerin sadece harp başlıkları taşıdığı varsayılmaktadır; başka deyişle tuzak başlıkları içermemektedir. Ayrıca ABA durumunda sistemin ideal bir biçimde çalıştığı varsayılmaktadır; başka deyişle önleyicinin etkisizleştirme olasılığı her atışta değişmemektedir.

Araştırmanın Sınırlıkları

Bu çalışmada tek bir kısıt varsayılmıştır. Bu kısıt da, her balistik füze için tahsis edilecek önleyici atış sayısıdır. Her bir balistik füzeye tahsis edilecek önleyiciye verilen en çok atış sayısı 5 olarak kabul edilmiştir.

Kullanılan Yöntemler

Bu tezde BFKSS'nin önleme amacına yönelik matematiksel modeli kurulmuş olup Excel programı kullanılarak benzetim yapılmıştır. Salvo atış durumunda Monte Carlo ilkesine dayanarak rastgele sayı üretilip model çözülmüş ve sonra sonuçlar çıkarılmıştır.

Tezin Planı

Tez, dört bölüm oluşturacak şekilde tasarlanmıştır.

- 1. Giriş Bölümü:** Araştırmanın konusu bağlamında balistik füze BFKSS'nin gerekliliği ve sistemin etkililiğinin önemi açıklanmış; ayrıca araştırmanın önemi, amacı ve planının yanı sıra daha önceki çalışmalara da yer verilmiştir.
- 2. Birinci Bölüm:** Bu bölümde, çalışmada ele alınan uygulamaya temel oluşturan kavramsal çerçeve incelenmiştir. Bu bağlamda füze türleri, balistik füze, balistik füze savunma sistemi, sistemin etkililiği vb konulara ilişkin önemli noktalar ele alınmıştır.
- 3. İkinci Bölüm:** Uygulama kısmı olup, birinci bölümdeki tüm bilgiler ve kavramlar temel alınarak uygulama, kıyaslama yapılmıştır.
- 4. Sonuçlar ve Öneriler:** Çalışmanın son bölümünde sonuçlara ve önerilere yer verilmiştir.

BALİSTİK FÜZE SİSTEMLERİYLE İLGİLİ KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Bu bölümde, çalışmada ele alınan uygulamaya temel oluşturan kavramsal çerçeve incelenmiştir. Bu bağlamda füze türleri, balistik füze, balistik füze savunma sistemi, sistemin etkililiği vb konulara ilişkin önemli noktalar ele alınmıştır.

1.1. Füzelerin Genel Sınıflandırması

Füzeler, çeşitli özelliklere göre sınıflandırılırlar; füzenin uçuş yörüngesi, fırlatma ve hedef konumu, itiş tekniği, harp başlığı yükü ve yönlendirme yöntemi. Tablo 1, füzelerin söz edilen özelliklere göre sınıflandırılmasını göstermektedir.

Tablo 1. Füzelerin genel sınıflandırması

Özellik	Sınıflandırma
Yörünge	1. Balistik 2. Seyir 3. Yarı-Balistik
Fırlatma Şekli	1. Karadan-Karaya 2. Karadan-Havaya 3. Karadan-Denize 4. Havadan-Havaya 5. Denizden-Denize 6. Denizden-Karaya 7. Tanksavar
İtme Motoru	1. Katı Yakıt 2. Sıvı Yakıt 3. Hibrit 4. Ramjet 5. Scramjet 6. Kriojenik
Harp Başlığı	1. Geleneksel 2. Stratejik (kimyasal-nükleer...)
Yönlendirme	1. Kablo Gdümlü 2. Komuta Gdümlü 3. Arazi Kıyaslamalı Yönlendirme 4. Ataletli 5. Hüzme Takip Gdümlü 6. Lazer Gdümlü 7. GPS Gdümlü

Kaynak: (Seren, 2015).

1.2. Balistik Füzelere İlgili Temel Bilgiler

Türk Dil Kurumuna göre balistik sözcüğünün anlamı “Ateşli silahlarda barut gazının basıncı ile fırlayıp hedefe varıncaya kadar merminin havadaki hareketini inceleyen bilim” şeklinde belirtilmiştir. Bu terimin Türkçe karşılığı “Atış Bilimi” dir. Balistik; itme, uçuş ve mermilerin etkisi bilimidir (Britannica, 2019).

Oxford Sözlük’ e göre; “Balistik; mermiler ve füzeler gibi havaya atılan şeylerin bilimsel çalışmasıdır” ve “Balistik füze, hedeflenen yere düşmek üzere belirli bir hız ve açıyla havaya ateşlenen bir füzedir” (Oxford Learner's Dictionaries, 2011).

Balistik füze, herhangi bir silahla yüklü olup olmadığına bakılmaksızın uçuş güzergahının büyük bir kısmında balistik bir yörüngeye sahip füzedir (FAS, 2000).

Balistik yörünge; yalnız yerçekimi ve muhtemel atmosferik sürtünmenin etkisi altında hareket eden, seyrinin değiştirilebilmesi mümkün olmayan ve itici güç verilmeyen bir merminin izlediği yoldur (Collins Dictionary, 2005).

Aşağıda balistik füzelerin bileşenleri, menzile göre türleri ve yörüngeleri, alt başlıklar altında incelenmiştir. Balistik Füze Bileşenleri

Tüm balistik füzeler, üç temel bileşenden oluşur (Missile Defense Advocacy Alliance, 2018):

1. Fırlatma ve hedeflenen noktaya ulaşma için gerekli enerjiyi veren bir itme sistemi,
2. Yakıt yakma etkisi altında uçuş sırasında füzenin yönlendirilmesini içeren ve başlangıç koşullarına göre yörüngesini düzelten güdüm sistemi,
3. Hedefi yok eden yük.

1.2.1. Menziline Göre Balistik Füzelerin Türleri

Balistik füzelerin, menziline göre iki ayrı sınıflandırması vardır (FAS, 2000).

Birincisi, ABD Sınıflandırması:

1. **Kısa Menzilli Balistik Füze (KMBF)** – İngilizcesi: Short Range Ballistic Missile (SRBM): <1000 Km

2. **Orta Menzilli Balistik Füze (OMBF)** – İngilizcesi: Medium Range Ballistic Missile (MRBM): 1000 – 3000 Km
3. **Uzun Menzilli Balistik Füze (UMBF)** – İngilizcesi: Intermediate Range Ballistic Missile (IRBM): 3000 – 5500 Km
4. **Kıtalar Arası Balistik Füze (KABF)** – İngilizcesi: Intercontinental Ballistic Missile (ICBM): >5500 Km

İkincisi ise Sovyetler Birliği geleneğini sürdüren Rusya sınıflandırması:

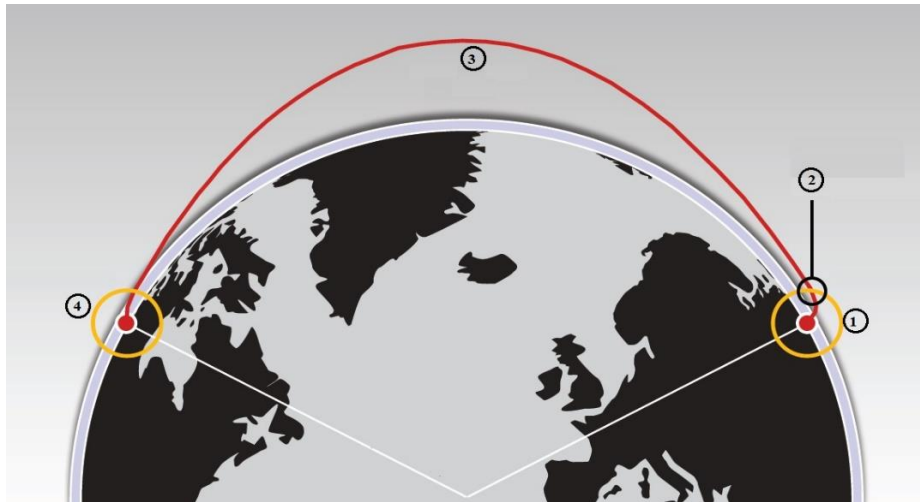
1. **Saha:** <50 Km
2. **Harekât – Saha:** 50 – 300 Km
3. **Harekât:** 300 – 500 Km
4. **Harekât – Caydırıcı:** 500 – 1000 Km
5. **Caydırıcı:** > 1000 Km

1.2.2. Balistik Füze Yörüngesi

Her balistik füzenin yörüngesi, en az dört aşamadan oluşur (Pathan, 2009):

1. Fırlatma aşaması
2. Tükenmişlik noktası
3. Balistik aşaması
4. İniş aşaması

Şekil 1, bu aşamaları göstermektedir.



Şekil 1. Balistik füzenin yörüngesi
Kaynak: (Wright, 2014).

1. Fırlatma Aşaması: Füzenin ateşlenerek yörüngesi doğrultusunda harekete geçirildiği itme aşamasıdır. Özellikleri şunlardır:

- Füze, roket motoru gücünün etkisi altında uçar. Roket motoru, bir veya daha fazla bağımsız kademe itiş sistemli olabilmektedir (Missile Defense Advocacy Alliance, 2018).
- Uçuş, 3 ila 5 dakika dolayında sürmektedir. Füze, oldukça yavaş ilerler, kıtalar arası balistik füzeler, saatte 24.000 km'den daha yüksek hızlara ulaşabilir. Bu aşamanın büyük bir bölümü atmosferde gerçekleşmektedir (Reif, 2019).
- Bu aşama 80 ila 100 km yükseklikte gerçekleşmektedir. (Wilkening, 1998)

2. Tükenmişlik Noktası: Bu nokta fırlatma aşamasının sonu, balistik aşamasının başlangıcıdır. Özellikleri şunlardır:

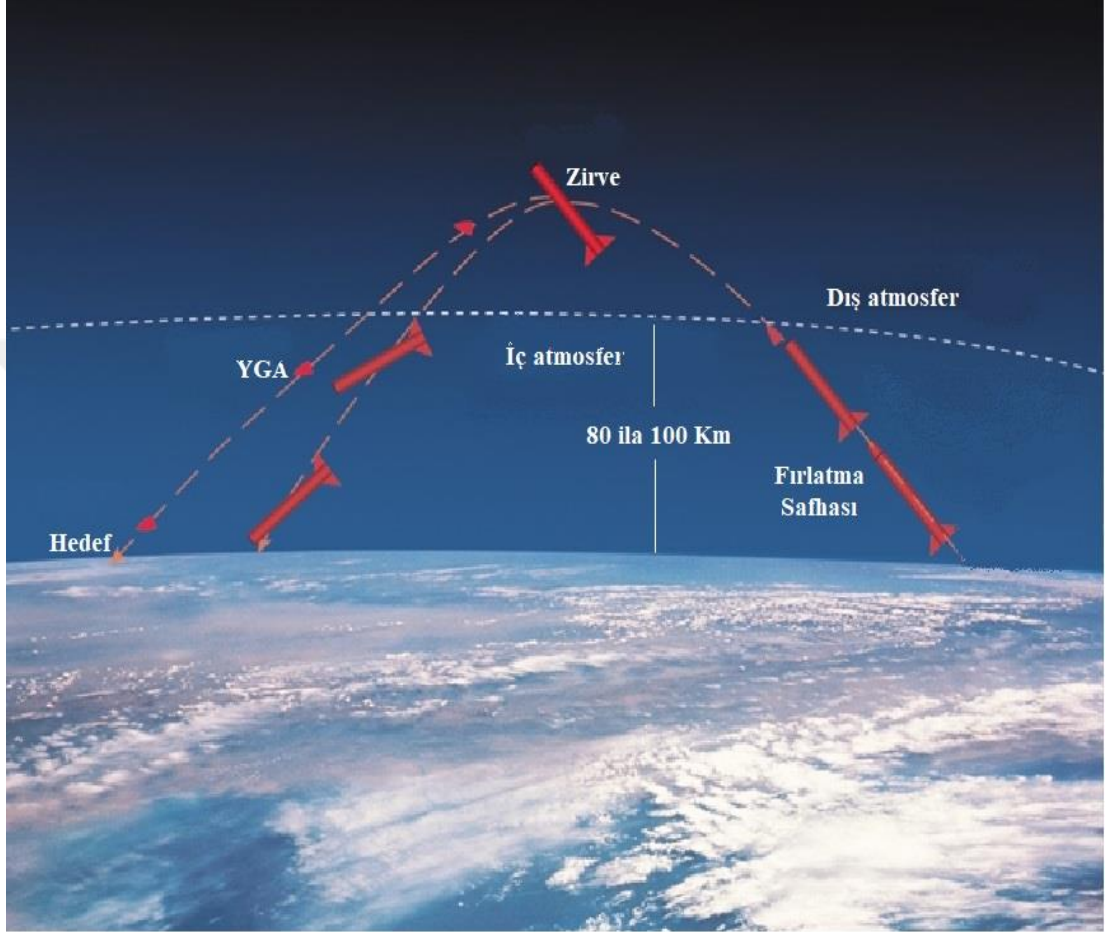
- Roket motorunun yakıtı bittiğinde (Reif, 2019), füzeyi yalnızca yerçekimi ve yüksek sürüklenme kuvveti etkiler.
- Füze, roketten ayrılıp aynı yörüngede seyrine devam eder (FAS, 2000).

3. Balistik Aşaması: Balistik aşaması, füzenin itme sisteminin yakıtı bittiğinde başlayan aşamadır. Bu aşama füzenin yörüngesinin en uzun aşaması olduğundan dolayı balistik füze olarak adlandırılmaktadır. Özellikleri şunlardır:

- Orta aşama olarak da adlandırılan bu aşama, en uzun uçuş aşamasıdır. Füze, bu aşamanın ilk kısmında zirve noktasına ulaşmaya kadar yükselirken ikinci kısmında yerdeki hedefe doğru alçalmaktadır. Bu fazın sonunda, füzenin savaş başlıkları ve tuzak başlıkları (eğer varsa) iniş aracından ayrılır (Reif, 2019).
- Özellikle kıtalar arası balistik füzenin (KABF) uçuşu 30 dakikaya kadar sürebilir. Bu fazda sürüklenme kuvveti çok zayıf olduğu için ihmal edilebilir. Genellikle, dış atmosferde gerçekleşmektedir (Wright, 2014). Dış atmosfer, 100 km üzerindeki yüksekliği belirtir. (Wilkening, 1998).

4. İniş Aşaması: Bu aşama, füzenin yörüngesindeki son aşamadır. Füze, yerçekimi etkisi altında hızlı bir şekilde hedefe doğru inişe geçmektedir. Bu aşamanın özellikleri şunlardır:

- İniş aracının hızı, saatte 3200 km'ye kadar ulaşabilmektedir (Reif, 2019).
- Bu aşama birkaç dakika sürebilmekte ve iniş aracı bu aşamada yüksek sıcaklık etkisi altında kalabilmektedir (Wright, 2014).



Şekil 2. Balistik füzenin uçuş aşamaları
Kaynak: (Pavalko, Chevli & Monius, 2000).

1.3. Yarı-Balistik Füze

Bu füze, hedefe giderken balistik bir yörünge izler ancak uçuş sırasında olası izlenmelerden ve müdahalelerden kaçmak için rastgele ya da programlanmış manevralar gerçekleştirir (LORA: Military-Today, 2020).

Yarı-Balistik Füze, balistik füzelere göre daha alçak bir yörüngede daha hızlı uçar ve daha kısa bir sürede önleme yapılmasını gerektirir; bu üstün özellikler daha kısa bir menzil için geçerlidir (Ballistic missile: wikipedia, 2021).

1.4. Balistik Füzelere Karşı Savunma Sistemi (BFKSS)

Hedefi uzaktan vurabilen balistik füzelerin yaygınlaşarak birçok ülke için tehdit unsuru oluşturmasıyla kentsel, askeri ve ekonomik öneme sahip bölgelerin bu füzelere karşı korunma ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

BFKSS'ye beş ardışık işlem olarak bakılır; arama, saptama, izleme, mücadele ve değerlendirme. BFKSS, uçuşun dört aşamasında önleme sağlayabilir: 1. Fırlatma öncesi, 2. Fırlatma sırasında, 3. Balistik aşamasında ve 4. İniş aşamasında gerçekleştirilmektedir (Jian, Qiwang ve Weiping , 2015).

BFKSS şöyle çalışmaktadır; balistik füzelere sahip olan ülkeler gözetlenir, bir saldırı başladığında bu saldırının gerçek bir saldırı olup olmadığı doğrulanır, kontrol ve komuta birliğine uyarı gönderilir. İzlenen füzenin yörüngesi tahmin edilir, ayrımcılık yapılır ve elde edilen tüm bilgiler kontrol ve komuta birliğine aktarılır. Kontrol ve komuta birliği, elde ettiği bu bilgilere dayanarak önleme işlemini uygulamaya geçirir. Bu aşamada yanlışlıkla neden olabilecek insan davranışları yer alabilir. Önleyici sistem hem kontrol ve komuta birliğinden hem de kendi sensörlerinden gelen bilgilere göre savaşın sonuna dek mücadeleye devam eder. Sensörler, mücadele bittiğinde denetleme yapar.

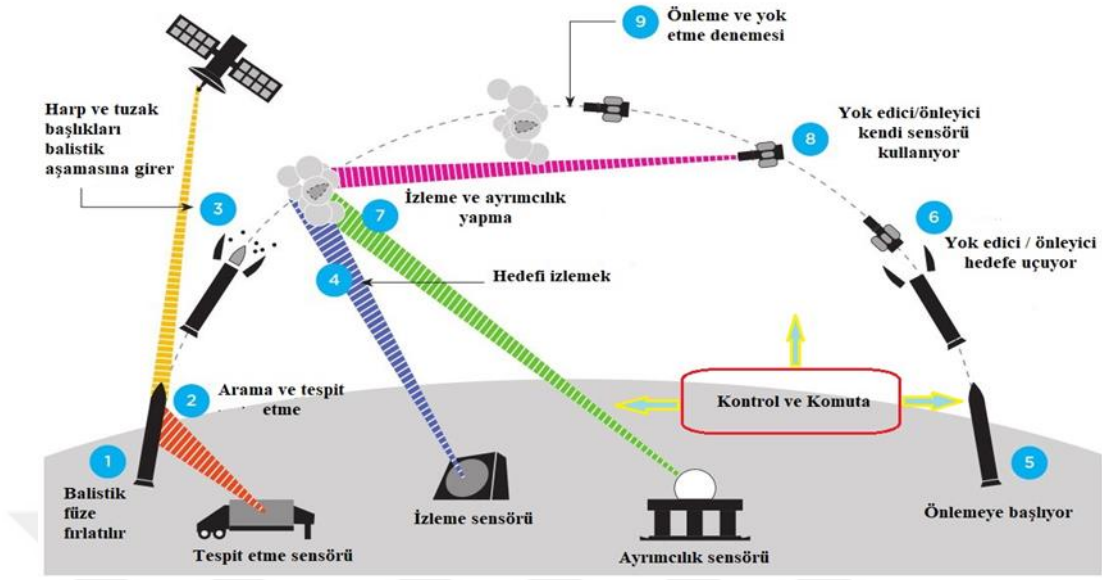
BFKSS; önleme aşamasına, önleyicinin konuşlandırılmasına, hedefin etkisizleştirilme yöntemine ve hedefi izlemek için kullanılan sensörlerin türlerine ve konumlarına göre sınıflandırılmaktadır (Gansler, 2010).

1.5. Önleme Aşamasına Göre BFKSS

BFKSS, önleme aşamasına göre farklı özellikleri bakımından dört sınıfa ayrılır: 1. Fırlatma öncesi önleme, 2. Fırlatma aşamasında önleme, 3. Balistik aşamasında önleme ve 4. İniş aşamasında önleme.

1.5.1. Fırlatma Öncesi Önleme:

Füzenin; arazide, gemide, siloda ya da hareket eden bir araçta olduğu fırlatma öncesindeki aşamadır. Füzenin, bu aşamada oldukça savunmasız olmasına karşın denizaltına ya da sertleştirilmiş bir siloya yerleştirilmesi etkisizleştirme işlemini zorlaştırır. (Gansler, 2010).



Şekil 3. BFKSS - toplu bakış

Kaynak: (Missile Defense Systems at a Glance, 2019).

Ek olarak fırlatılacak füzeyle ilişkin istihbarat bilgisinin dakik olması, sakıncalı sonuçların oluşmasına neden olacak yanlış kararlar alınmasının önüne geçmek için önemlidir.

1.5.2. Fırlatma Aşamasında Önleme:

Füzenin saptanması ve etkisiz duruma getirilmesi; yavaş hareket ettiği, yüksek ısı ve ışık yaydığı ve savunmasız olduğu için kolaydır. Bu aşamanın zaman aralığı 200 ila 300 saniye aralığında olduğundan etkisizleştirme kısa süre içinde gerçekleştirilir. Önleyici, füzeyle çok yakın ve çok hızlı olmalıdır. Ayrıca kısa sürede karar vermek ve hedefi türüne göre ayırmak gerekir (Gansler, 2010).

ABD, geçmişte fırlatma aşamasında önleme üzerine bazı çalışmalar başlatmıştır. Ancak gidişattaki aşılabilir zorluklar, uygulanamaz kavramlar veya karşılanamayan yüksek maliyetler nedeniyle bu çalışmalarını devam ettirmemiştir (Geller, 2021). Günümüze dek hiçbir ülke bu aşamada önleyici bir sisteme sahip olamamıştır.

1.5.3. Balistik Aşamasında Önleme

Balistik aşaması, önleme işleminde en uzun süre gerektiren aşamadır. Bu aşama, füzenin konumu hakkında diğer aşamalardan daha fazla öngörülebilirlik sağlar. Yine bu aşamada sensörleri ve radarları karıştıracak füzenin tuzak başlıkları yayılır (Geller, 2021).

Bunlara ek olarak karar verme sürecinde daha fazla zaman kazanılır. Böylelikle bu aşama, hedefi önlemek ve etkisiz duruma getirmek için en uygun fırsatı sunar. Özellikle kıtalar arası balistik füze, bu aşamayı uzayda (dış atmosfer) gerçekleştirirken hem tuzak hem de harp başlıkları aynı ağırlıktadır ve birbirinden ayırt edilemez, bu durum radar ve sensör görevlerini zorlaştırır (Gansler, 2010).

1.5.4. İniş Aşamada Önleme:

Bu aşamada, tuzaklar ve yeniden giriş aracı/araçları (harp başlığı) atmosfere girdiğinde birbirinden ayrılmaya başlar. Harp başlığı atmosfere girerken hızlı bir biçimde hedeflenen noktaya doğru düşer, tuzak ise daha hafif olduğundan dolayı yavaşça atmosfere giriş yapar. Sensörlerin ve radarların görevlerini yerine getirmeleri için en iyi fırsatın bu aşamada olduğu açıktır. Ancak önleme ve etkisizleştirme işlemi için zaman yoktur ve bu işlem yüksek risklidir (Gansler, 2010).

1.6. Önleyicinin Konuşlandırılmasına Göre BFKSS:

Balistik füzeyi önleyen füze önleyici, balistik füzeyi hedef alıp engelleyen bir füzedir; genellikle önleyici hız bakımından balistik füzeye göre daha hızlıdır. Önleyiciler türüne göre; yer üstünde konuşlandırılan, denizde konuşlandırılan, hava aracı ile taşınan veya uzayda konuşlandırılan önleyici olarak sınıflandırılır. Bir ülkede bir ya da birden fazla önleyici türü bulunabilmektedir.

1.6.1. Yer Üstünde Konuşlandırılan Önleyici:

Yer üstünde konuşlandırılan önleyiciler, ABD ve Rusya örneği gibi dünya çapında birçok ülke tarafından kullanılır. Savunulan yerlerin veya varlıkların çok yakınına konuşlanabilir (Gansler, 2010).

Bütün bir ülkeyi kapsayacak kadar geniş bir alan içinde yayılarak konuşlanabilmektedir (Lewis, 2017).

1.6.2. Denizde Konuşlandırılan Önleyici:

Bu önleyici türü, denizin ortasında ve/veya kentlere yakın kıyısında konuşlanır. Balistik füze uçuşunun tüm aşamalarındaki önleme işleminde, hedefe yakınlık derecesine göre yardımcı olabilir (Gansler, 2010).

1.6.3. Hava Aracı ile Taşınan Önleyici:

Önleme işlemi havada gerçekleştirilmek istendiğinde; önleyici, uçak ya da insansız hava aracı (İHA) ile taşınır. Önleyici, fırlatma noktasına yakın bir konumda konuşlanabilir. Taşınan önleyici yüksek enerjili lazer de olabilmektedir (Gansler, 2010).

1.6.4. Uzayda Konuşlandırılan Önleyici:

Uzayda gerçekleştirilen önleme işlemleri, yere yakın bir yörüngede gerçekleştirilir, yüksek enerjili lazer taşıyan seyyar uydular kullanılmaktadır. Bu şekilde balistik füze fırlatma aşamasındayken önlenmiş olur. Bu önleme seçeneğinin teknik, ekonomik ve siyasi zorlukları nedeniyle önleyiciyi uzayda konuşlandırma projesi teklif çerçevesinde kalıp gerçek hayata geçirilememiştir (Gansler, 2010).

1.7. Etkisizleştirme Yöntemine Göre BFKSS:

Bir mermiyi başka bir mermi ile vurma zorunluluğu ve tuzaklanan savaş başlığının ayrımcılığının zayıflığı nedeniyle yüksek olasılıklı bir etkisizleştirme gerçekleştirilmesi için nükleer önleyici ilk olarak ABD ve Rusya tarafından kullanılmıştır. Ancak düşecek nükleer bir parça ve elektronik sistemde karışıklığa neden olacak elektromanyetik bir şok olacağından dolayı bu yaklaşımdan vazgeçilmiştir. Ardından düşman uçaklarını düşürmek için kullanılan “kinetik vuruş” adı verilen eski bir yöntem benimsenmiş, füze savunma alanında “yok etmeye vurma” adıyla tanıtılmıştır. Kinetik vuruş, yok edilecek hedefi doğrudan yüksek hız ile vurmaya dayalıdır. Fırlatmadan önce hedef yaklaşıma kadar önleyici yerden yönlendirilir. Sonra kendi yeteneği ile ayrımcılık ve kendisini yönlendirme işlemlerini yapar. Söz edilen etkisizleştirme yöntemlerinin sonuncusu ise yüksek

enerjili lazerdir. Ölleme işleminin uzayda gerçekleştirildiği durumlarda önleyiciye “Uzayda Yok Edici Araç” ismi verilir (Gansler, 2010).

1.8. Sensörlere Göre BFKSS

BFKSS'nin yetenekleri birleştirilmiş birkaç sensörü arasındaki uyumdur. Sensör bulundurmeyen BFKSS bir anlam ifade etmemektedir. Şu görevler genellikle sensörler tarafından üstlenilir:

1. *Arama ve Saptama*: Yörüngelerinde dolanan uydular, balistik füzeleri denetleyerek saptarlar.
2. *Erken Uyarma*: Balistik füzenin fırlatıldığı anda gönderilen uyarıdır.
3. *Ayırma*: İniş aracı hem harp hem de tuzak başlıklarını içerir. Bu nedenle ayırıcı sensörler harp başlığını/başlıklarını tuzaktan ayırt etmeye çalışırlar.
4. *İzleme*: Fırlatılan balistik füzeyi izleyerek yörüngesinin saptanmaya çalışılmasıdır.
5. *Yönlendirme*: Bir hedefin yörüngesi baz alınarak vurulup yok edilmesi amacıyla önleyiciye (yok edici araç) gerekli bilgilerin iletilmesidir.
6. *Denetim (Değerlendirme)*: Hedefin yok edilip edilmediğinin kontrolüdür.

Sensörlerin görevleri kıyaslanarak konumları belirlenir. Önleyici, bir sensör içermektedir. Bu sensör, hedefin vurulana kadar aranmasında ve yönlendirilmesinde son ana dek bulunmaktadır. Önleyici sensörleri, kızılötesi veya optik olabildiği gibi ayırmacılık işlemi de yapabilmelidir (Gansler, 2010).

1.9. BFKSS'de Atış İlkeleri

Balistik füzenin saptandığı anda yok edilmesine karar verildiğinde, iki atış ilkesi uygulanır. Bu atış ilkeleri: 1. Yayılım Ateşi (Salvo) ve 2. Atış-Bak-Atış (ABA) ilkeleridir.

1. **Yayılım Ateşi (Salvo)**: Bu yöntemde, giren her hedefe “n” sayıda önleyici fırlatılmak üzere hazırlanır. Önleyiciler hemen hemen aynı anda fırlatılır (Wilkening, 1998).
2. **Atış-Bak-Atış (ABA)**: Bu yöntemde; giren her hedefe bir önleyici fırlatılır. Sensör (radar) hedefin yok edilmesini denetler. Eğer hedef yok edilmemişse

tekrar bir önleyici fırlatılır (Perry, Button, Bracken, Sullivan ve Mitchell, 2002).

1.10. BFKSS'nin Zorlukları

(Missile Defense: Japan Ministry of Defense, 2020) tarafından BFKSS'nin bazı zorlukları sunulmuştur:

1. Düşman hedefi önleme kararı son derece kısa bir zamanda verilmelidir
2. Önleyici, yüksekteki bir hedefi doğrudan vuruncaya dek iyi ve doğru bir biçimde yönlendirilip denetlenir; bu şekilde önleme işleminde başarı sağlanır.
3. Özellikle küçük ve hızlı hedeflerin izlenmesi ve saptanması güvenli ve kesin bir şekilde tamamlanır.
4. Füze dünyasında gerçekleşen gelişmeler ve yeni nesillerin üretilmesidir. Örneğin; hipersonik kayma hava aracı ve yarı balistik füzeler.

Ayrıca, radarların ve sensörlerin doygunluğunda iki faktör etkilidir; birincisi hücum yoğunluğu, ikincisi ise hedef tam olarak vurulamadığında dağılılabilen şarapnellerdir (Wilkening, 1998).

Ek olarak balistik füze alanında gizli kalan araştırma ve geliştirme çalışmaları ve bu araştırma ve geliştirme çalışmalarının sonuçları gerçek bir savaşta görüldüğünde rakibi şaşırabilmektedir.

1.11. Etkililik

Etkililik, bir sistemin kendisine atanan görevi belirli koşullar altında tamamlama oranının ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Hem çözümleyici (analist) hem de tasarımcı, etkililik düzeyinin öğrenilmesinden yararlanır. Çünkü tasarımcı, ulaşılan sonuçlar ile, üzerine düşünülen sistemin tasarımında değişiklik yapabilir (Dordick, 1965).

Tanımdaki koşullar, kısıtlamalar olarak görülebilir. Bu koşullar; *zaman, kayıp, hız ve sıcaklık* gibi fiziki bir değer ya da siyasi veya ekonomik bir durum olabilir.

Özden'e göre etkililik (tesirlilik) faaliyetlerin amaçları gerçekleştirme seviyesini ölçen bir performans (verim) göstergesidir, gerçekleşen çıktıların planlanan çıktılara oranlamasıyla ölçür (Özden, 2021)

Karar verenler, sistemler arasında karşılaştırma yapabilirler. Çünkü etkililik değeri, sistemin amacını hangi düzeyde gerçekleştireceğini gösterir. İnceleyici, her zaman önerilen sistemin nasıl değerlendirileceği konusunda araştırma yapar.

Etkililik, yazardan yazara değişen birkaç ögeyi içermektedir. Bu ögeler, etkililik hesabının arkasındaki nedene göre kısmen ya da tamamen hesaplanmaktadır. Bu ögeler şunlardır; *güvenilirlik*, *sürdürülebilirlik*, *hazırlık*, *yetenek* (H. Paul Barringer, 1997).

Green ve Stracener (2019), H. Paul Barringer'in belirttiği bu ögelere dayanıklılık ögesini de eklemektedir. Etkililik, ayrıca incelenen sistemin doğasına bağlı özel ölçütler içerebilir.

1.11.1. Güvenilirlik

Sistemden beklenen sonuçların gerçekleştirilme olasılığının göstergesidir (Green ve Stracener, 2019).

Bir ürünün kendisinden beklenen görevi belirli bir süre içinde, belirli koşullar altında sorunsuzca yerine getirme olasılığıdır (Akın, 1998).

Başarının başarısızlığa oranının en yüksek düzeye ulaşması için çaba harcanmalıdır.

1.11.2. Sürdürülebilirlik

Bu terim, bakım ve onarım kolaylığı ve hızını belirtir, kıyaslamak için bir referans değeri belirlenmelidir (H. Paul Barringer, 1997).

Tanımı: Bir sistemin belirli bir çevrede belirli bir süre içinde onarılabilme olasılığıdır (Paul Phister, 2021).

1.11.3. Yetenek

Yöntemlere, usullere ve nedenlere odaklanır. Çünkü sistemin yüksek derecede güvenilir, sürdürülebilir ve hazır olmasına karşın istenilen sonuçlara ulaşamamasının nedeni kullanılan yöntemin, usulün veya nedenin yanlış ya da kusurlu olmasıdır (Green ve Stracener, 2019).

1.11.4. Dayanıklılık

Bir sistemin; saldırı, başarısızlık veya kaza gerçekleşmesi durumunda öz görevini zamanında yerine getirmesi için gösterdiği dayanma gücüdür. (Al, 2021).

Dayanıklılığın artırılması için sistemin sıkışma, dış etmenlere duyarlılığını ve savunmasızlığını azaltma konularında çaba harcanmalıdır (Green ve Stracener, 2019).

1.11.5. Hazırlık

Ekipmanın veya sistemin görevini yerine getirme olasılığıdır (H. Paul Barringer, 1997).

1.11.6. Özel Ölçüt

Bazı sistemler, amacına göre etkililiğin ölçülmesi için özel bir ölçüt eklemek zorundadır. Örneğin BFKSS için güvenlik sisteminin sağlamlığı, önemli bir ölçüttür.

Bu ölçüt, sistemdeki insan etmenine bağlıdır. Yani sistemde görevlendirilen kişilerin güvenilirliği, bu kişilerin seçilmesindeki etkenler ve bir casusun içeri sızma olasılığı gibi etmenlere bağlıdır.

1.12. Etkililiğin Türleri

Etkililik, ilgili kaynaklar titizlikle incelenerek istenilen amaç doğrultusunda sınıflandırılmıştır. Aşağıda etkililik türlerinden açıkça söz edilmemiştir çünkü etkililik türleri yazardan yazara değişebilmektedir:

- 1. Sistem Mühendisliğine Göre Etkililik (SİMGE):** Yukarıda söz edilen tüm öğeler (güvenilirlik, sürdürülebilirlik, çeviklik, yetenek ve dayanıklılık) hesaba katılacaktır.
- 2. Bütün Etkililik (BET):** Sistemin tüm hedeflerine göre etkililik hesap edilecektir; başka bir deyişle etkililik, SİMGE'ye sistemin diğer amaçları da eklenerek (siyasi, ekonomik, sosyal vb.) hesap edilecektir.
- 3. Uygulamalı Etkililik (UYET):** Sadece çalışmaya ve başarıya bağlı olan kriterlerin etkililiğine bakılır yani son kullanıcıya ilişkin, doğrudan görülen tüm hedeflerin etkililiği hesaplanacaktır.

1.13. Etkililik Ölçüsü

Etkililiği ölçmek için düzenli ve sistematik bir yöntemin şimdiye dek bulunamamasının yanı sıra yazılı eserler, tüm sistemler için geçerli bir kuram ya da kural içermemektedir. Ayrıca çoğu yaklaşım nitel yönetime yönelip öznel biçime yaklaşmaktadır. (Green ve Stracener, 2019).

Etkililiğin ölçülmesi, bilimsel yaklaşım ilkeleriyle nitelendirilmektedir. Bilimsel yaklaşım ilkeleri, öznellikten uzaktır; hesaplamalar, varsayımlar, veriler ve yargılar açık bir biçimde belirtilir. Matematiğe dayalıdır; nicel ve deneyseldir (Özden ve Gül, 2014).

Green ve Stracener'e göre etkililik ölçüsü; nicel, olasılıksal, soyut ve güvenilirliğe dayalıdır, saptama ve etkisizleştirme olasılıkları gibi rastgele değişkenlerin askeri operasyonda bulunmasına ek olarak olasılık değerleri boyutsuzdur.

Güvenilirlik, etkililiğin hesaplamasındaki en büyük görevi üstlenir. Güvenilirlik; etkililiği doğrudan, diğer öğeleri dolaylı olarak etkiler. Güvenilirlik yükselirken sürdürülebilirlik, çeviklik, yetenek ve dayanıklılık da yükselir ve sonuç olarak sistem etkililiği artar (EL-Sayed ve Ali, 2006).

Tüm bu öğeler boyutsuzdur. Aynı zamanda güvenilirliğin, etkililiğin hesaplanmasında en önemli öge olduğu ve en büyük payı bulundurduğu vurgulanmalıdır (EL-Sayed ve Ali, 2006).

1.14. Etkililik Hesaplama Adımları

1. Etkililik hesaplamadaki amacın/amaçların belirlenmesi.
2. Amaca göre etkililiği değerlendirmek için ölçütleri tanıma.
3. Varsayımları açıklama.
4. Matematiksel model oluşturma.
5. Model çözümünün uygun bir yöntemini uygulama.
6. Sonuçları çözümleyip çıkarımlara varma.

BALİSTİK FÜZE SAVUNMA SİSTEMİNDE ETKİLİLİK İLE İLGİLİ UYGULAMA

Birinci bölümde balistik füze, BFKSS ve etkililik ile ilgili kavramsal çerçeve verilmiştir. İkinci bölümde ise BFKSS'nin etkililiği ile ilgili konulardan söz edilip etkililiğin hesaplanması için belirlenen adımlar uygulamaya geçirilecektir.

2.1. Problemin Tanımlaması

Bu çalışma sonunda şu soruların yanıtlarına ulaşılması hedeflenmektedir: 1. BFKSS'nin etkililiğini değerlendirme ölçütü nedir? 2. Önleyicinin etkisizleştirme olasılığı, her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısı, hücumda kullanılan harp başlığı sayısı BFKSS'nin etkililiğini nasıl etkiliyor? 3. BFKSS hangi durumda çalışırsa daha etkili olabilir salvo durumunda ya da ABA durumunda? 4. Ülkenin millî güvenliği için BFKSS'ne mi balistik füze saldırı sisteminin geliştirilmesine mi öncelik verilebilir?

2.2. Etkililiğin Hesaplanmasının Amaçları

Etkililiğin hesaplanmasının amaçlarını, değişik karar vericilere göre belirlemek olanaklıdır. Örnek olarak;

1. Siyasetçiler, “BFKSS'nin etkililiği, uluslararası ilişkileri nasıl etkiler?” ve “BFKSS'nin etkililiği, müzakerelerde tarafları ne kadar güçlü duruma getirebilir?” gibi sorulara yanıt veren etkililik ile ilgilenmektedir.

2. Sistem mühendisi; güvenilirlik, sürdürülebilirlik, çeviklik, yetenek ve dayanıklılık gibi ögeleri içeren etkililik ile ilgilenebilmektedir. Etkililik, sistemin yapısını ve çalışma başarısını geliştirmek için sistem mühendisine bilgiler verebilmektedir.

3. Etkililik; karar verme yöntemlerinde ölçüt olarak, tahsis konusunda ve çalıştırma tekniğinin seçilmesinde yöneylemciye yarar sağlamaktadır.

Bu çalışmada, etkililik, yöneylemci açısından ele alınmaktadır. Etkililik, BFKSS'te kullanılan iki atış tekniği arasında karşılaştırma yapmak için kullanılmaktadır. Bu karşılaştırma; sistemin etkililiğine, her bir hedef için tahsis edilecek önleyiciye ve sistemin doyma noktasına göre yapılacaktır.

2.3. Etkililik Değerlendirme Ölçütü

BFKSS'nin etkililiğinin hesaplanmasındaki amaçlara göre karşılaştırma, sistemin tüm yapısı değiştirilmeden belirli bir aşamada ve iki atış tekniğinin arasında yapılmaktadır.

Önleyici fırlatılmadan önceki arama, saptama ve izleme gibi tüm BFKSS görevleri hem ABA hem Salvo durumlarında aynıdır.

Belirlenen amaçlar çerçevesinde, BFKSS'nin önleme aşamasında ABA ve Salvo atış teknikleri arasında karşılaştırma yapılması istenir, buna göre önleyicinin iki atış tekniğinde etkililiği ele alınarak amaca ulaşılır; bu nedenle BFKSS'nin önleme sistemi dışındaki diğer iç sistemlerine bakılmaksızın etkililik hesaplanmaktadır.

Buna göre iki atış tekniğini karşılaştırmak için önleme sisteminin etkililiğinin hesaplanması yeterlidir, başka bir deyişle hedefin etkisizleştirilme olasılığı hesaplanmalıdır. Hedefin etkisizleştirilme olasılığı etkililiğin ölçütü sayılmaktadır; bu ölçüt, sistemin güvenilirliğine bağlı, boyutsuz, nicel, deneysel, olasılıksal ve matematiğe dayalı özellikler bulundurmaktadır.

Bu çalışmada, ABA ve Salvo atış teknikleri kullanılıp etkisizleştirme olasılığı hesaplanarak karşılaştırma yapılmaktadır.

2.4. Varsayımların Belirlenmesi

Bu adımda, uygulamaya geçirilecek sistemin özellikleri ve birkaç varsayım belirlenecektir. Sistemin özelliklerinin belirlenmesi ve varsayımların bulunması, sonuçları çerçevelemekten ve genellemelerden ortaya çıkan yanlışlıklardan kaçınmayı sağlar. Ayrıca bazı varsayımlar sonuçları etkilemeden araştırmayı kolaylaştırabilir.

Bu çalışmada, ele alınacak sistemin şu özellikleri belirlenmektedir: 1. Önleme aşaması, 2. Önleyicinin konuşlanması ve 3. Etkisizleştirme yöntemi.

Çalışmada, BFKSS'nin önleme işlemi balistik aşamasında gerçekleştirilecektir. Bu durumda Salvo ya da ABA tekniği kullanılarak bu iki teknik arasında karşılaştırma yapılabilmektedir.

Önleyicinin konuşlanması işleminde yer üstünde konuşlanmış durumdaki önleyici seçilecektir. Çünkü bu seçenek, dünya çapında birçok ülke tarafından kullanılmaktadır.

Etkisizleştirme yönteminde ise en yaygın yöntem olan “yok etmek üzere vurma” adlı kinetik vuruş tekniği kullanılacaktır.

Ayrıca Salvo durumunda önleyicinin etkisizleştirme olasılığı ilk atıştan itibaren istatistiksel olarak bağımsız değildir ve rastgele değişmesi önemli bir konudur. Bu varsayımın arkasında şu iki neden vardır: 1. Tüm önleyici füzeler aynı anda fırlatılmaktadır ve 2. İlk atışta önleyici, hedefi etkisiz duruma getiremeyerek etrafa şarapnel yayabilmektedir ya da hedef yörüngesinden saparak etkisizleştirme olasılığını rastgele değiştirmektedir (Wilkening, 1998).

Yukarıda söz edilenlere ek olarak sistemin başarılı çalışması ile ilgili şu varsayımlar sıralanacaktır:

1. Önleyicinin etkisizleştirme olasılık değeri, balistik hedefin hızından etkilenmemektedir.
2. ABA ilkesi kullanılırken her iki atış arasında bakma (hedefin etkisizleştirilip etkisizleştirilmediğinin kontrol edilmesi) işlemi yapılmaktadır, bu işlem için zaman gerekir ve bu zamanın yeterli olduğu varsayılacaktır. Yani önleyici füze ve sistemin yanıtı (tepkisi) çok hızlıdır.

Ayrıca ABA ilkesi durumunda, önleyicinin etkisizleştirme olasılığının her bir atış için istatistiksel olarak bağımsız olduğu kabul edilir, başka bir deyişle etkisizleştirme olasılığının değeri her bir atış için sabit olup değişmemektedir. Bu varsayım, tamamen doğru olmasa da bakma işleminin kusursuzca gerçekleştirilmesine dayanmaktadır.

3. İnsan etkisi ihmal edilmektedir.

4. Hücüm, sadece harp başlıklarını içermektedir; tuzak başlıklarını içermemektedir.
5. BFKSS'den izlenebilen hedeflerin sayısı sınırsızdır.
6. Salvo durumunda birinci önleyici için etkisizleştirme olasılığı fırlatıldıktan sonra değişmemektedir.
7. ABA ve Salvo yöntemleri kullanılırken BFKSS'nin diğer öğeleri aynı etkililik ve aynı çalışma başarısı içinde çalışmaktadır.

Çalışmayı kolaylaştırmak ve çalışmanın çözüm alanını sınırlandırmak için bir kısıt varsayılacaktır; her bir balistik füze tahsis edilecek önleyiciye verilen en çok atış sayısı **5** olarak kabul edilecektir.

2.5. Matematiksel Modelin Kurulması

Hedefin etkisizleştirilme olasılığı, etkililik ölçütü olarak kabul edilirse her bir atış denemesinin olası iki sonucu ya başarı ya da başarısızlıktır. BFKSS, önleme sisteminde iki sonuçla karşılaşabilir: 1. Balistik füze vurulup etkisizleştirilir ve BFKSS kendi görevini başarıyla tamamlar, 2. Balistik füze hedefi kaçırılabilir ve BFKSS başarısızlık gösterir. Bu sonuçlara göre her deneyden Bernoulli deneyi olarak söz edilip Wilkening makalesinden yararlanılarak aşağıdaki denklem ve model kurulmaktadır.

$$P(X) = \begin{cases} q & X = 0 \\ p & X = 1 \\ 0 & \text{Diğer durumlarda} \end{cases} \quad (2)$$

Burada:

$P(X)$: X rastgele değişkeninin olasılık fonksiyonu.

q : Başarısızlığın olasılığı, yani X 'in sıfır çıkmasının olasılığı. Başka bir deyişle hedefi kaçırma olasılığıdır.

p : Başarı olasılığı, yani X 'in bir çıkmasının olasılığı. Başka bir deyişle hedefi etkisizleştirme olasılığıdır.

Önleyici fırlatıldığında hedefi p olasılıkla etkisizleştirir ve q olasılıkla etkisizleştirmeyi başaramaz. Bu durumda:

$$p + q = 1 \quad (3)$$

Bu deneme (atak) H defa tekrarlanırsa yani H harp başlığı içeren bir hücum olursa:

$$E = p^H \quad (4)$$

Burada:

E : Sistemin “ H ” harp başlığı içeren hücumu etkisizleştirme olasılığı yani sistemin etkililiğidir.

H : Hücumdaki harp başlıklarının sayısı.

Sisteme göre görünen harp başlıklarının sayısı H :

$$H = P_{hh}H^* + P_{th}T \quad (5)$$

Burada:

H^* : Harp başlıklarının gerçek sayısıdır.

P_{hh} : BFKSS’ye göre harp başlığının harp başlığı olarak görünmesi olasılığıdır.

P_{th} : BFKSS’ye göre tuzak başlığının harp başlığı olarak görünmesi olasılığıdır.

T : Tuzak başlıkların sayısı.

Etkisizleştirme olasılığı p :

$$p = 1 - \prod_1^n (1 - k_i) = 1 - \prod_1^n q_i \quad (6)$$

Burada:

k_i : i önleyici için etkisizleştirme olasılığı. Başka bir deyişle “ k_i ”, tek harp başlığı içeren bir hücum için ve her bir harp başlığı için tek bir önleyici tahsis edildiğinde sistemin etkililiğini gösterir.

n : Her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısıdır.

Başka bir deyişle “ p ”, tek harp başlığı içeren bir hücum için ve her bir harp başlığı için “ n ” önleyici tahsis edildiğinde sistemin etkililiğini gösterir.

Örnek olarak, varsayalım ki:

Her bir harp başlığı için tahsis edilen önleyici sayısı: $n=2$.

Hücumda harp başlıklarının sayısı: $H=1$.

Birinci önleyici için etkisizleştirme olasılığı: $k_1=0,8$.

İkinci önleyici için etkisizleştirme olasılığı: $k_2=0,6$.

Bu durumda:

$$p = 1 - (1 - 0,8)(1 - 0,6) = 0,92$$

Sistemin etkililiği:

$$E = 0,92^1 = 0,92$$

$H=2$ ise, yani balistik hücum iki harp başlığı içerirse sistemin etkililiği şöyledir:

$$E = 0,92^2 = 0,8462$$

Bu örnek şöyle açıklanabilir:

Bir harp başlığı içeren bir hedefi ilk atıştaki etkisizleştirme olasılığı 0,8'dir; aynı hedefi ikinci atıştaki etkisizleştirme olasılığı 0,6'dır.

$(1-0,8)$ terimi hedefin ilk atıştan kaçmasının olasılığıdır.

$(1-0,6)$ terimi hedefin ikinci atıştan kaçmasının olasılığıdır.

$(1-0,8)(1-0,6)$ terimi hedefin birinci ve ikinci atıştan kaçmasının olasılığıdır; yani q değeri:

$$q = 1 - p = 1 - 0,92 = 0,08$$

Bir önleyici için etkisizleştirme olasılığı, hedefin yörüngesine ait bilgilerinin kalitesine bağlıdır (Jian, Qiwan ve Weiping, 2015).

Ayrıca etkisizleştirme olasılığı hedefin uzaklığı ve boyutları gibi etmenlere bağlı, benzetme yöntemleriyle istatistiksel olarak belirlenmektedir (Wilkening, 1998).

Salvo ilkesi durumunda atıştan önce etkisizleştirme olasılığı belirli bir değerde olabilir, atıştan sonra her bir önleyici için etkisizleştirme olasılığı rastgele bir biçimde değişebilir çünkü bir önleyici, hedefi vurabilir ama etkisiz duruma getirmeyebilir ve şarapnel yayılabilir ya da hedef yörüngesinden sapabilir. Bu durum diğer önleyiciler için etkisizleştirme olasılığını etkiler; başka bir deyişle etkisizleştirme olasılığı, ya azalır ya da artar. Etkisizleştirme olasılığı ABA ilkesi durumundaki atışlar için değişmez çünkü sistem her atış öncesinde hedefin etkisizleştirilip etkisizleştirilmediğini kontrol etmektedir (Wilkening, 1998).

Wilkening, Salvo ilkesinde etkisizleştirme olasılığının rastgele değişebildiğini söylemesine karşın sunduğu modelde her bir önleyici için etkisizleştirme olasılığı istatistiksel olarak bağımsız ve değişmez sayılmıştır.

Burada önerilen modelde Salvo yöntemi kullanılırken etkisizleştirme olasılığının rastgele değişken olduğu dikkate alınmıştır. ABA yönteminin kullanımına gelince, buradaki etkililik incelemesinde sistem ideal bir biçimde çalıştığı sayılmıştır ve matematiksel denklemlerden uzak simülasyon kullanılarak yapılmıştır.

Salvo Modeli:

$$E(H) = p^H \quad (7)$$

$$p = 1 - (1 - k_1)(1 - k_2)(1 - k_3)(1 - k_4)(1 - k_5) \quad (8)$$

$$0,6 \leq k_1 \leq 0,99 \quad (9)$$

$$1 \leq H \leq 100 \quad (10)$$

$$0 \leq k_2, k_3, k_4, k_5 \leq 1 \quad \text{ve rastgele (random)} \quad (11)$$

Burada:

$E(H)$: H harp başlığı içeren hücum için etkililik.

H : Harp başlığı sayısı.

p : Tek harp başlığı içeren hücumda etkisizleştirme olasılığı.

k_i : i . önleyici için etkisizleştirme olasılığı.

k_1 : Birinci önleyici için etkisizleştirme olasılığı.

ABA Modeli:

$$E(H) = p^H \quad (12)$$

$$p = 1 - (1 - k)^n \quad (13)$$

$$1 \leq n \leq 5 \quad \text{ve tam sayıdır} \quad (14)$$

$$0,6 \leq k \leq 0,99 \quad (15)$$

$$1 \leq H \leq 100 \quad (16)$$

Burada:

$E(H)$: H harp başlığı içeren hücum için etkililik.

H : Harp başlığı sayısı.

p : Tek harp başlığı içeren hücumda etkisizleştirme olasılığı.

k : Etkisizleştirme olasılığı.

n : Önleyici sayısı.

2.6. Modelin Çözümleme Yöntemi

Kurulan modelin çözümleme işleminin sonucunda etkililiğin hesaplanmasının amaçları açıklanmaktadır. Çözümleme işleminden sonra şu ilişkiler belirlenmelidir:

1. Her bir hedef için tahsis edilen önleyici ile etkililik ilişkisi ve 2. Hücumda kullanılan harp başlığı ile etkililik ilişkisi.

Kurulan model oldukça karmaşıktır ve modelin bazı değişkenleri rastgele bir biçimde değişmektedir. Bu nedenle çözüm için en uygun tekniğin, benzetim tekniği olduğu bulunmuştur.

Benzetimde; herhangi çok amaçlı programlama dili, Matlab gibi özel bir programlama dili veya Excel gibi tablolama programı kullanılabilir. Bu çalışmada Excel yazılımı kullanılmaktadır.

Salvo durumunda, varsayımlar çerçevesinde Salvo tekniğine benzeyen bir deneme tasarlanıp yenilenmektedir. Deneme tasarısı için şu adımlar yürütülmektedir:

1. Birinci önleyici için etkisizleştirme olasılığının 0.6 ile 0.99 arasındaki bir değerle sabitleştirilmesi.
2. Diğer önleyiciler için etkisizleştirme olasılığını 0 ile 1 arasında random rakamlar üretilmesi yoluyla değiştirilmesi.
3. Birinci, ikinci, ve beşinci önleyici için Denklem 8 uygulanması.
4. 1'den 3'e kadar adımlar bitince birinci deneme tamamlanır, böylece tek harp başlığı içeren hücumda 5 önleyici için her bir önleyicinin p değeri elde bulunmaktadır.

5. Her denemede 4 random değişkeninin bulunması nedeniyle çok sayıda seçenek ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle denemenin fazlaca tekrarlanmasıyla gerçeğe yakın bir sonuca ulaşmak mümkün olur. Bu çalışmada birinci deneme 1000 defa tekrarlandığından dolayı her bir önleyici için p 'nin 1000 değeri elde edilmektedir. Tüm önleyiciler için ulaşılan sonuçların p değerlerinin ortalaması hesaplanarak p tek değeri oluşturulmaktadır.
6. Hücümün harp başlığı sayısı 1 ile 100 arasında değiştirildiğinde denklem 7 kere uygulanıp her hücüm için etkililik ortaya çıkarılmaktadır.
7. Sonuçlanan rakamların uygun tabloya eklenerek amaçlara uygun bir biçimde düzenlenmesi, amaçlanan ilişkileri gösteren eğrilerin çizilmesidir.

ABA durumunda, benzetim alışması Salvo'ya göre daha kolay bir biçimde yapılabilir. ABA'nın kurulduğu modelde rastgele değişkenler bulunmaması ve etkisizleştirme olasılığı her bir atışta değişmez sayıldığında benzetim adımları kolaylaştırılmaktadır. şu adımlar uygulanabilmektedir:

1. Etkisizleştirme olasılığının 0,6 ile 0,99 arasında değiştirilmesi.
2. 1., 2., 3., 4. ve 5. önleyici için denklemin 13 kez uygulamaya alınması.
3. Hücümün harp başlığı sayısı 1 ile 100 arasında değiştirildiğinde denklemin 12 kez uygulanıp her hücüm için etkililik ortaya çıkarılması.
4. Sonuçlanan rakamların uygun tabloya eklenerek amaçlara uygun bir biçimde düzenlenmesi, amaçlanan ilişkileri gösteren eğriler izilmesi.

2.7. Salvo Modelinde Benzetim Sonuçları

şekil 4'te ilk atıştaki etkisizleştirme olasılığı ile sistemin etkililiği arasındaki ilişki görülmektedir. Tablo 2 ise eğrileri karşılaştırmak için gerekli olan bazı değerleri göstermektedir.

şekil 4'te ilk atıştaki etkisizleştirme olasılığı ile sistemin etkililiği arasındaki ilişki fonksiyonunun, doğrusal fonksiyon olduğu görülmektedir.

şekil 4'ten ve Tablo 2'den şu sonuçlara ulaşılabilir:

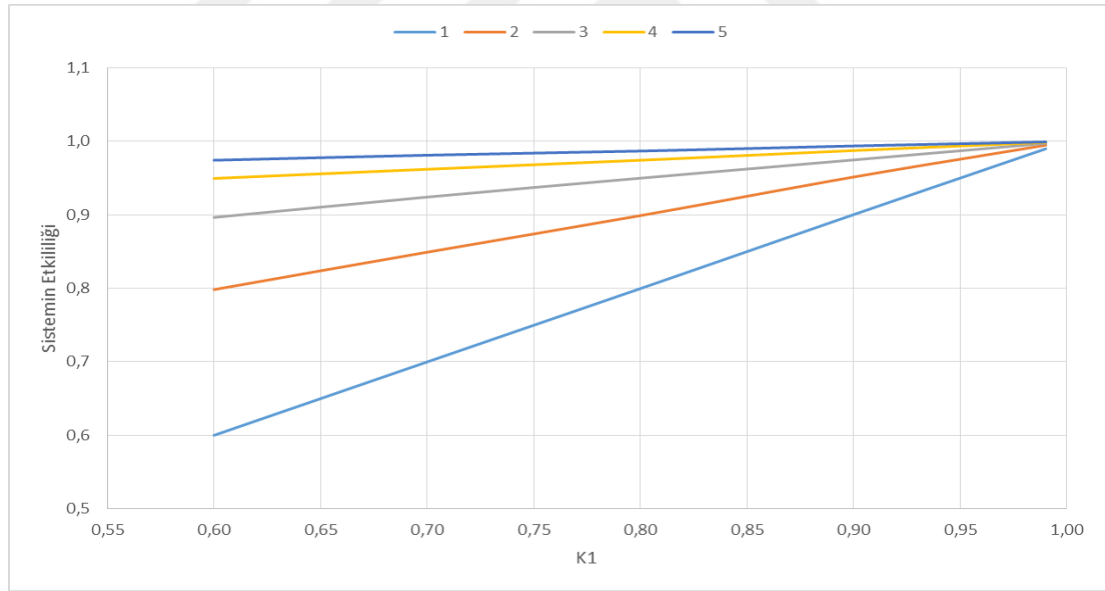
1. Her bir hedef için tahsis edilen önleyicinin belirli bir sayısı için ilk atıftaki etkisizleştirme olasılığı yükseltildiğinde sistemin etkililiği yükselir.

2. İlk atıftaki etkisizleştirme olasılığının belirli bir değerinde her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısı arttırıldığında sistemin etkililiği artar.

Yukarıdaki iki sonuç, Şekil 5 ve Tablo 3 ile doğrulanmaktadır.

Tablo 2. İlk atıftaki etkisizleştirme olasılığı- Etkililik

K1	Her Bir Hedef İçin Tahsis Edilen Önleyici Sayısı				
	1	2	3	4	5
0,60	0,600	0,798	0,897	0,950	0,974
0,70	0,700	0,849	0,924	0,962	0,981
0,80	0,800	0,899	0,950	0,974	0,987
0,90	0,900	0,952	0,975	0,988	0,994
0,99	0,990	0,995	0,997	0,999	0,999



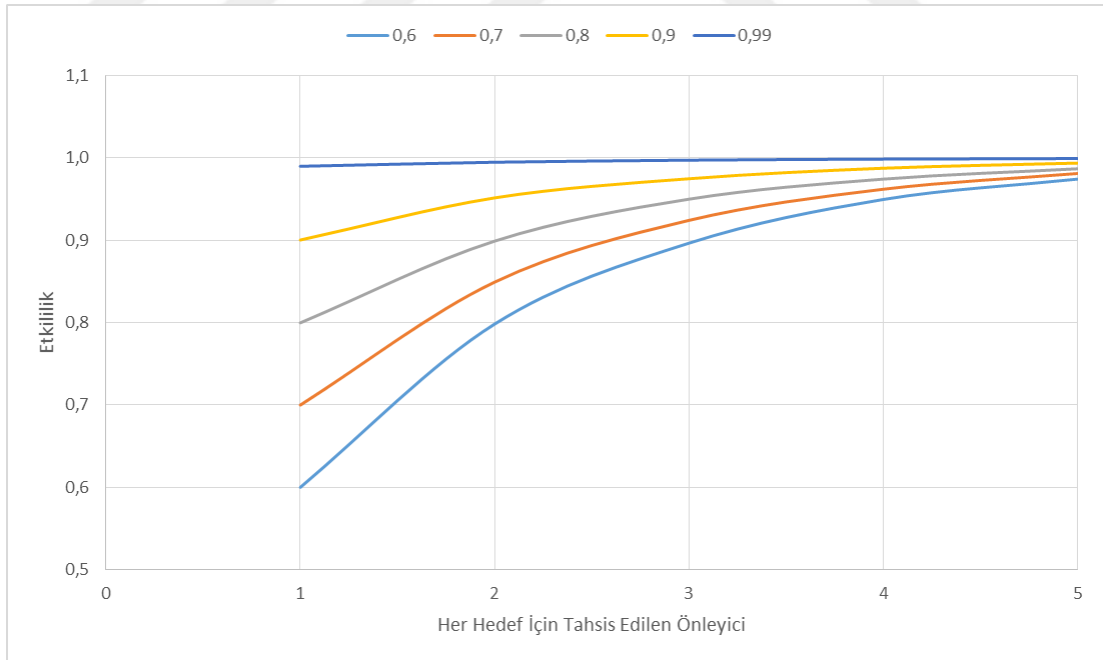
Şekil 4. İlk atıftaki etkisizleştirme olasılığı – sistemin etkililiği

Şekil 5'te görüldüğü üzere her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısı ile etkililik arasındaki ilişki doğrusal değildir. Her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısı 5'ten sonra, önleyicinin etkisizleştirme olasılığının artırılmasının sistemin etkililiği üzerindeki etkiyi azalttığı görülür.

Tablo 3. Her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısı- Etkililik

Her Bir Hedef İçin Tahsis Edilen Önleyici Sayısı	İlk Atıştaki Etkisizleştirme Olasılığı Değeri				
	0,6	0,7	0,8	0,9	0,99
1	0,600	0,700	0,800	0,900	0,990
2	0,798	0,849	0,899	0,952	0,995
3	0,897	0,924	0,950	0,975	0,997
4	0,950	0,962	0,974	0,988	0,999
5	0,974	0,981	0,987	0,994	0,999

Her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısının artırılması ekonomik açıdan çok yararlı olmayabilir. Bu konu, kuruluşun savunma niteliğine göre değerlendirilebilir. Özellikle önleyici, hedeflendiği balistik füzenin niteliğine göre daha fazla maliyet gerektirebilir. Burada her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısını artırmak yerine ilk atıştaki etkisizleştirme olasılığının değerinin yükseltilmesi için çaba harcanması daha uygun olabilir. Bu değerın yükseltilmesi oldukça maliyetli bir çalışmadır. Burada özenli bir araştırmaya ve geniş bir zamana gerek duyulur. Her koşulda bu konu ve seçenekleri maliyet ve yarar açısından ele alınmalıdır.



Şekil 5. Her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısı – Etkililik

Tablo 4, Tablo 5, Tablo 6, Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8’de ilk atıştaki etkisizleştirme olasılığının farklı değerlerinin, hücumda kullanılan harp başlığı sayısı ile sistemin etkililiği arasındaki ilişkisi görülmektedir.

Söz edilen tablolar ve şekillerden şu bilgilere ulaşılır:

1. Her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısı ve hücumda kullanılan harp başlıkları sayısı gibi belirli koşullarda gerçekleştirilen ilk atıştaki etkisizleştirme olasılığı artırıldığında sistemin etkililiği de artmaktadır.
2. Her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısı ve ilk atıştaki etkisizleştirme olasılığı gibi belirli koşullarda hücumda kullanılan harp başlıklarının sayısı artırıldığında sistemin etkililiği azalmaktadır.
3. İlk atıştaki etkisizleştirme olasılığı ve hücumda kullanılan harp başlıklarının sayısı gibi belirli koşullarda her bir hedef için tahsis edilen önleyicinin sayısı artırıldığında sistemin etkililiği de artmaktadır.

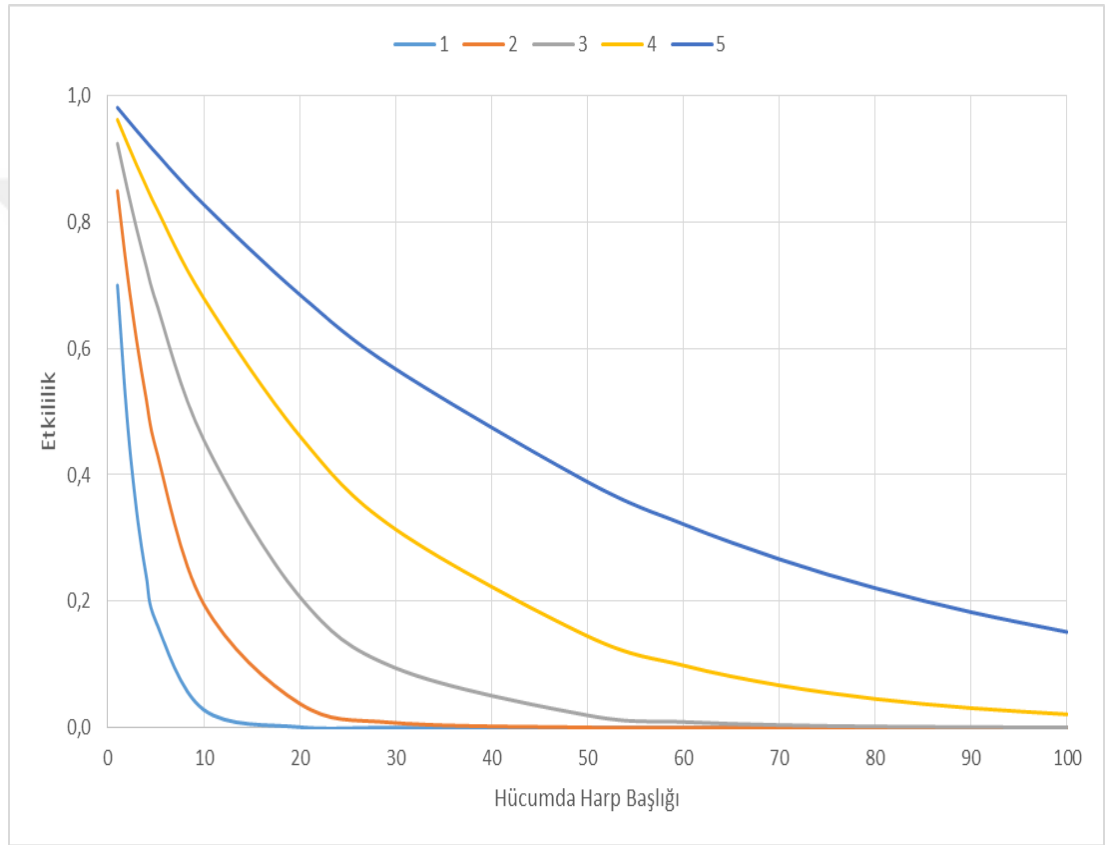
Tablo 4. Hücumda kullanılan harp başlığı sayısı – etkililik (İlk atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K_1=0,7$)

Hücumda Kullanılan Harp Başlığı Sayısı	Her Bir Hedef İçin Tahsis Edilen Önleyici Sayısı				
	1	2	3	4	5
1	0,700	0,849	0,924	0,962	0,981
2	0,490	0,721	0,854	0,926	0,963
3	0,343	0,613	0,790	0,891	0,945
4	0,240	0,520	0,730	0,857	0,927
5	0,168	0,442	0,675	0,824	0,910
10	0,028	0,195	0,455	0,680	0,828
20	0,001	0,038	0,207	0,462	0,685
30	0,000	0,007	0,094	0,314	0,568
50	0,000	0,000	0,020	0,145	0,389
60	0,000	0,000	0,009	0,099	0,322
70	0,000	0,000	0,004	0,067	0,267
80	0,000	0,000	0,002	0,045	0,221
90	0,000	0,000	0,001	0,031	0,183
100	0,000	0,000	0,000	0,021	0,151

Beklenen hücumun hacmine ve ilk atıştaki etkisizleştirme olasılığına bakılarak önleyici tahsis edilir. Şekil 6’da belirli bir hücum için sistemin etkisiz duruma geleceği görülür. Sistemin etkililiği sıfıra yaklaştığında tüm balistik füzeler sistemden kaçabilir. Bu nokta sistemin doyma noktasıdır. Balistik füzelerin sayısı sistemin doyma noktasını aşarsa savunulan hedefler mutlaka tehlike altında kalacak ve savunma sistemi etkisiz duruma geçecektir. Her bir hedef için tahsis edilen

önleyici sayısı ve ilk atıştaki etkisizleştirme olasılığı değeri yükselttilerek savunma sisteminin etkililiğini artırılabilir, sonuçta sistemin doyma noktası artırılabilecek, sistemin hücumu caydırma yeteneği yükselecektir.

Şekillerde bulunan eğriler gösteriyor ki en iyi durumda (her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısı=5, ilk atışta etkisizleştirme olasılığı=0,9), hücumun hacmi büyürken (100 harp başlığı) sistemin etkililiği %54'ü dahi aşmamıştır.

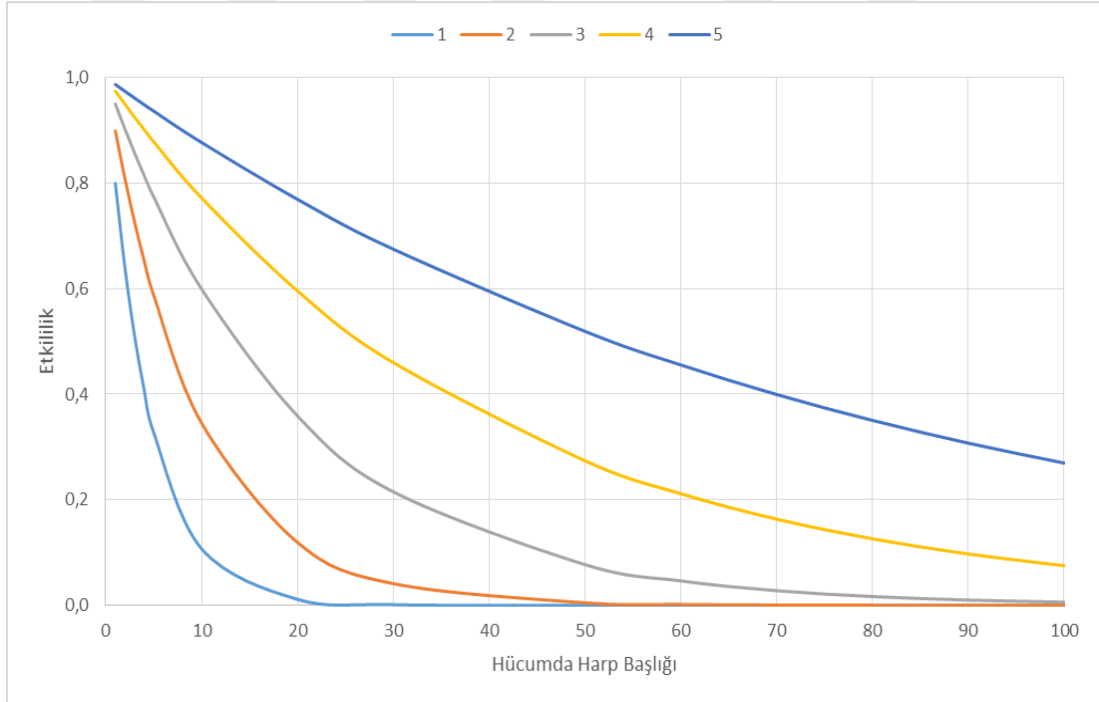


Şekil 6. Hücumda kullanılan harp başlığı sayısı – etkililik (İlk atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K_1=0,7$)

Tablo 7’de ve Şekil 9’da belirli bir hücum için etkililik ve her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısı arasındaki ilişki görülmektedir. Belirli bir hücum için etkililiğin yükseltilmesi istenirse her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısının artırılması gerektiği gözlemlenir.

Tablo 5. Hücümde kullanılan harp başlığı sayısı – etkililik (İlk atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K_1=0,8$)

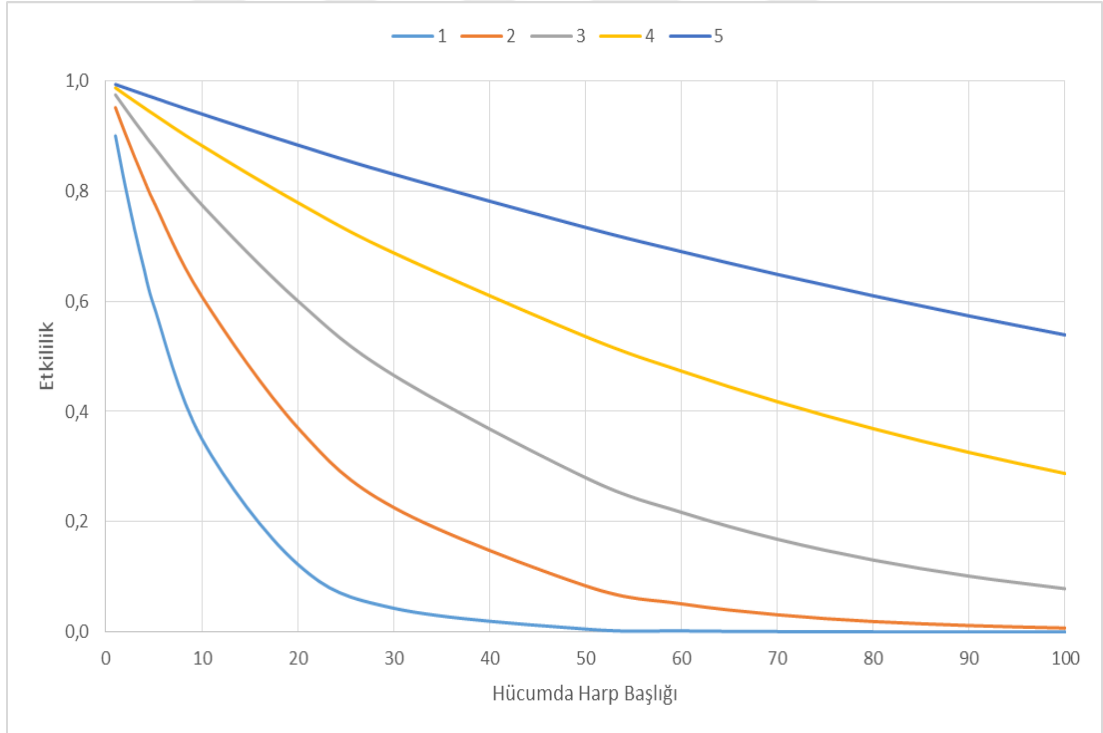
Hücümde Kullanılan Harp Başlığı Sayısı	Her Bir Hedef İçin Tahsis Edilen Önleyici Sayısı				
	1	2	3	4	5
1	0,800	0,899	0,950	0,974	0,987
2	0,640	0,808	0,903	0,950	0,974
3	0,512	0,727	0,858	0,925	0,961
4	0,409	0,654	0,815	0,902	0,949
5	0,327	0,588	0,774	0,879	0,937
10	0,107	0,345	0,599	0,772	0,877
20	0,011	0,119	0,359	0,596	0,769
30	0,001	0,041	0,215	0,460	0,675
50	0,000	0,005	0,077	0,274	0,519
60	0,000	0,002	0,046	0,212	0,456
70	0,000	0,001	0,028	0,163	0,400
80	0,000	0,000	0,017	0,126	0,350
90	0,000	0,000	0,010	0,097	0,307
100	0,000	0,000	0,006	0,075	0,270



Şekil 7. Hücümde kullanılan harp başlığı sayısı – etkililik (İlk atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K_1=0,8$)

Tablo 6. Hücümde kullanılan harp başlığı sayısı – etkililik (İlk atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K_1=0,9$)

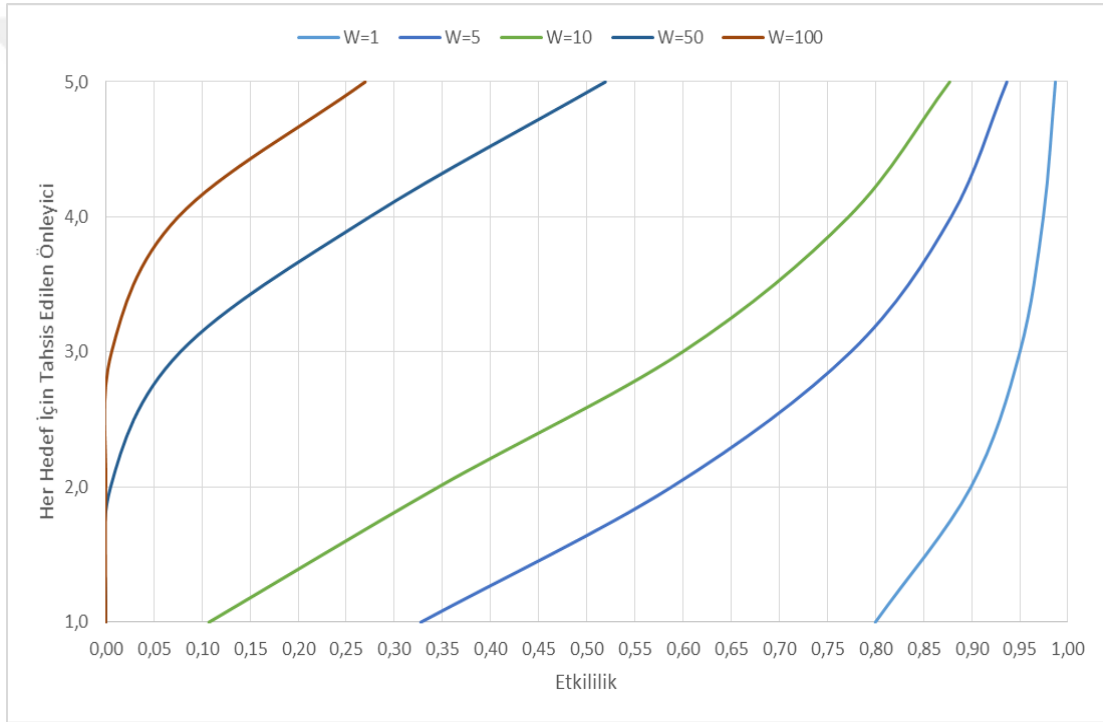
Hücümde Kullanılan Harp Başlığı Sayısı	Her Bir Hedef İçin Tahsis Edilen Önleyici Sayısı				
	1	2	3	4	5
1	0,900	0,952	0,975	0,988	0,994
2	0,811	0,906	0,950	0,975	0,988
3	0,730	0,862	0,926	0,963	0,982
4	0,657	0,820	0,903	0,951	0,976
5	0,592	0,780	0,881	0,940	0,970
10	0,350	0,609	0,775	0,883	0,940
20	0,123	0,371	0,601	0,779	0,884
30	0,043	0,226	0,466	0,688	0,831
50	0,005	0,084	0,280	0,536	0,734
60	0,002	0,051	0,217	0,474	0,690
70	0,001	0,031	0,168	0,418	0,649
80	0,000	0,019	0,131	0,369	0,610
90	0,000	0,012	0,101	0,326	0,574
100	0,000	0,007	0,078	0,288	0,539



Şekil 8. Hücümde kullanılan harp başlığı sayısı – etkililik (İlk atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K_1=0,9$)

Tablo 7. Etkililik- her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısı (İlk atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K_1=0,8$)

Her Bir Hedef İçin Tahsis Edilen Önleyici Sayısı	Hücumda Kullanılan Harp Başlığı Sayısı				
	1	5	10	50	100
1	0,800	0,327	0,107	0,000	0,000
2	0,899	0,588	0,345	0,005	0,000
3	0,950	0,774	0,599	0,077	0,006
4	0,974	0,879	0,772	0,274	0,075
5	0,987	0,937	0,877	0,519	0,270



Şekil 9. Etkililik- Her Bir Hedef İçin Tahsis Edilen Önleyici Sayısı (İlk atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K_1=0,8$)

2.8. Atış-Bak-Atış Modelinin Benzetim Sonuçları

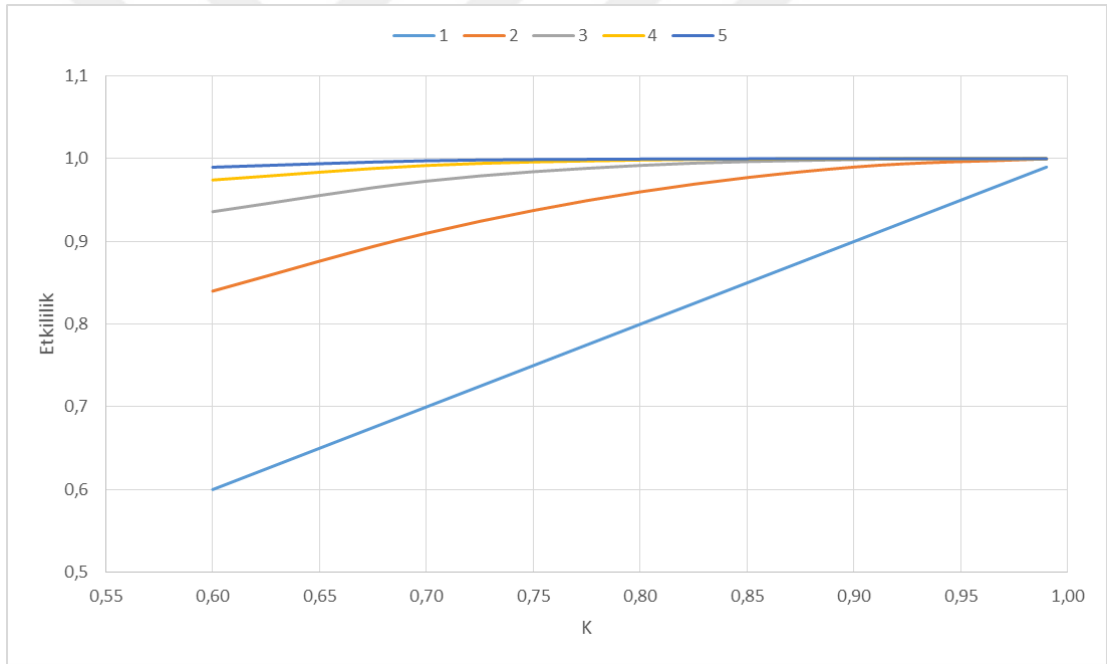
Şekil 10'da tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı ile sistemin etkililiği arasındaki ilişki sunulmuştur. Tablo 8'de eğrilerin karşılaştırılması için bazı değerler verilmiştir. Eğriler, her bir hedef için tahsis edilen önleyicinin farklı sayı değerleri üzerinden oluşturulmuştur.

Tablo 8. Tek atıftaki etkisizleştirme olasılığı- etkililik

K	Her Bir Hedef İçin Tahsis Edilen Önleyici Sayısı				
	1	2	3	4	5
0,60	0,6000	0,8400	0,9360	0,9744	0,9898
0,70	0,7000	0,9100	0,9730	0,9919	0,9976
0,80	0,8000	0,9600	0,9920	0,9984	0,9997
0,90	0,9000	0,9900	0,9990	0,9999	1,0000
0,99	0,9900	0,9999	1,0000	1,0000	1,0000

Şekil 9'dan ve Tablo 8'den şu sonuçlara ulaşılır:

1. Her bir hedef için tahsis edilen önleyicinin belirli bir sayısı için tek atıfta etkisizleştirme olasılık değeri yükseltildiğinde sistemin etkililiği yükselir.
2. Tek atıftaki etkisizleştirme olasılığının belirli bir değerinde her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısı artırıldığında sistemin etkililiği artar.



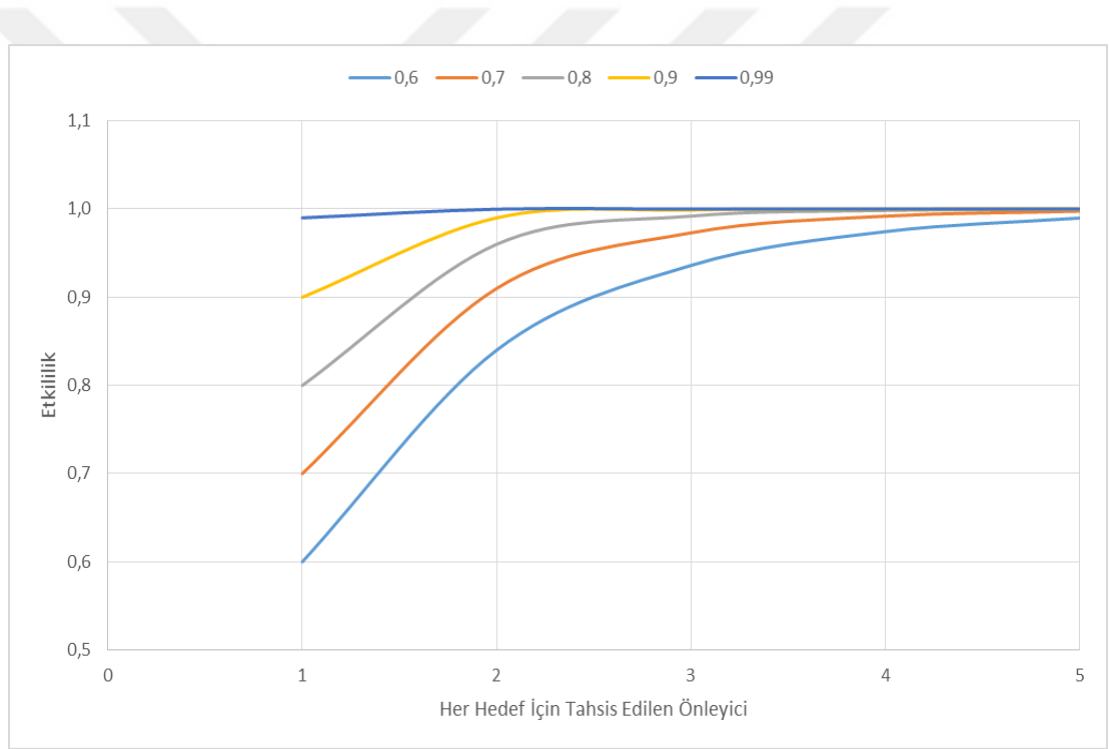
Şekil 10. Tek atıftaki etkisizleştirme olasılığı- etkililik

Şekil 11'de görülüyor ki her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısı ile etkililik arasındaki ilişki doğrusal değildir. Her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısı 5'ten sonra, önleyicinin etkisizleştirme olasılığının artırılmasının sistemin etkililiğindeki etkiyi azalttığı fark edilir. Her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısının artırılması ekonomik açıdan çok yararlı olmayabilir ve bu konu, savunulan

kuruluşun niteliğine göre değerlendirilebilir. Özellikle önleyici, hedeflenen balistik füzeye göre füzedan daha maliyetli olabilir

Tablo 9. Her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısı – etkililik

Her Bir Hedef İçin Tahsis Edilen Önleyici Sayısı	Etkisizleştirme Olasılığı				
	0,6	0,7	0,8	0,9	0,99
1	0,6000	0,7000	0,8000	0,9000	0,9900
2	0,8400	0,9100	0,9600	0,9900	0,9999
3	0,9360	0,9730	0,9920	0,9990	1,0000
4	0,9744	0,9919	0,9984	0,9999	1,0000
5	0,9898	0,9976	0,9997	1,0000	1,0000

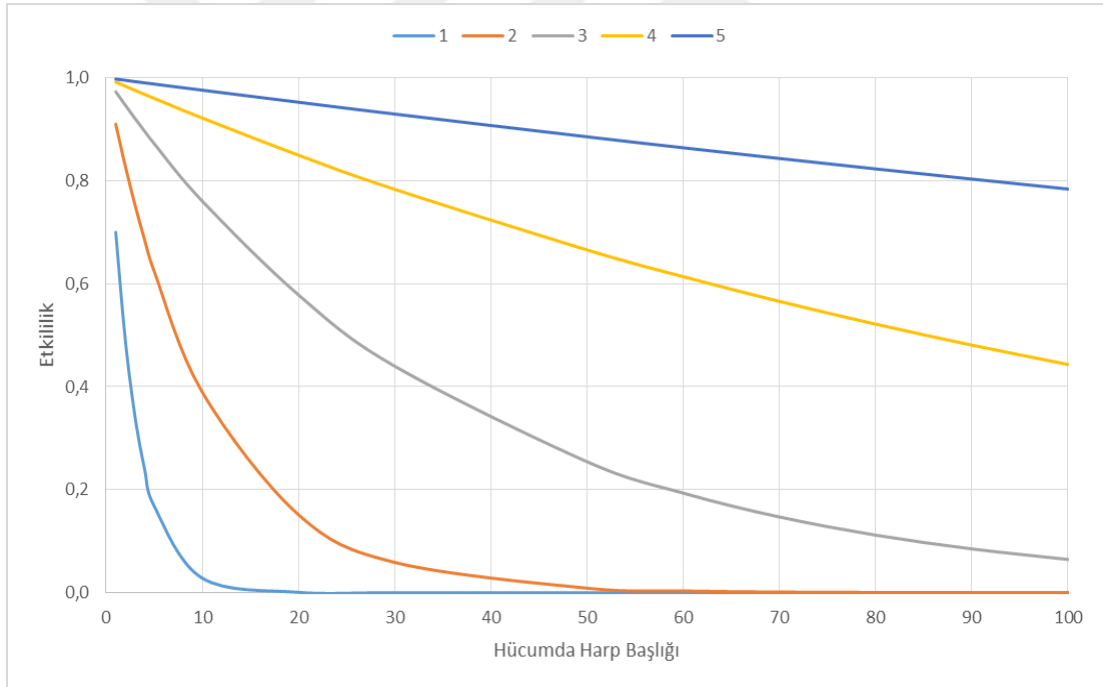


Şekil 11. Her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısı – etkililik

Burada her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısını artırmak yerine tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı değerini yükseltmek için çaba harcanmalıdır. Bu değerın yükseltilmesi oldukça maliyetli bir çalışmadır, özenli bir araştırmaya ve geniş bir zamana gereksinim duyulacaktır. Her koşulda bu konu ve seçenekler maliyet ve yarar açısından ele alınmalıdır.

Tablo 10. Hücümde kullanılan harp başlığı sayısı – etkililik. (Tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K=0,7$)

Hücümde Kullanılan Harp Başlığı Sayısı	Her Bir Hedef İçin Tahsis Edilen Önleyici Sayısı				
	1	2	3	4	5
1	0,700	0,910	0,973	0,992	0,998
2	0,490	0,828	0,947	0,984	0,995
3	0,343	0,754	0,921	0,976	0,993
4	0,240	0,686	0,896	0,968	0,990
5	0,168	0,624	0,872	0,960	0,988
10	0,028	0,389	0,761	0,922	0,976
20	0,001	0,152	0,578	0,850	0,953
30	0,000	0,059	0,440	0,783	0,930
50	0,000	0,009	0,254	0,666	0,885
60	0,000	0,003	0,194	0,614	0,864
70	0,000	0,001	0,147	0,566	0,843
80	0,000	0,001	0,112	0,522	0,823
90	0,000	0,000	0,085	0,481	0,803
100	0,000	0,000	0,065	0,443	0,784



Şekil 12. Hücümde kullanılan harp başlığı sayısı – etkililik. (Tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K=0,7$)

Tablo 9, Tablo 10, Tablo 11, Şekil 11, Şekil 12 ve Şekil 13'te tek atıştaki etkisizleştirme olasılığının farklı değerleri için hücümde kullanılan harp başlığı sayısı ile sistemin etkililiği arasındaki ilişki görülmektedir.

Söz edilen tablolardan ve şekillerden şu sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısı ve hücumda kullanılan harp başlıklarının sayısı gibi belirli koşullarda gerçekleştirilen tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı artırıldığında sistemin etkililiği de artmaktadır.
2. Her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısı ve tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı gibi belirli koşullarda hücumda kullanılan harp başlıklarının sayısı artırıldığında sistemin etkililiği azalmaktadır.
3. Tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı ve hücumda kullanılan harp başlıklarının sayısı gibi belirli koşullarda her bir hedef için tahsis edilen önleyicinin sayısı artırıldığında sistemin etkililiği de artmaktadır.

Beklenen hücumun hacmine ve tek atıştaki etkisizleştirme olasılığına bakılarak önleyici tahsis edilecektir.

Şekil 12’de belirli bir hücum hacminde sistemin etkisiz duruma geleceği görülür. Sistemin etkililiği sıfıra yaklaştığında tüm balistik füzeler sistemden kaçabilir. Bu nokta sistemin doyma noktasıdır.

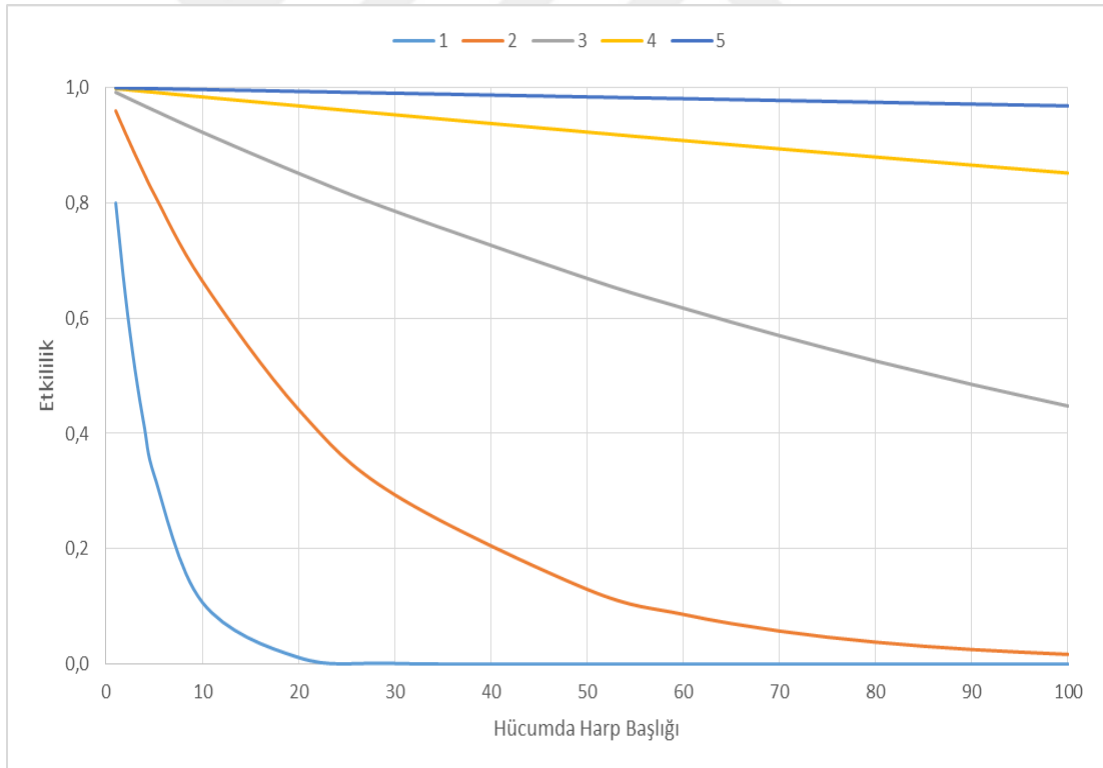
Balistik füzelerin sayısı sistemin doyma noktasını aşarsa savunulan hedefler mutlaka tehlike altında kalacak ve savunma sistemi etkisiz duruma geçecektir. Her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısı ve tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı değeri yükseltilerek savunma sisteminin etkililiğini artırılabilir. Sonuçta sistemin doyma noktası artırılabilecek, sistemin hücumu caydırma yeteneği yükselecektir.

Şekillerde bulunan eğriler gösteriyor ki en iyi durumda (her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısı=5, ilk atıştaki etkisizleştirme olasılığı=0,9), hücumun hacmi büyürken (100 harp başlığı) sistemin etkililiği 0.999’a ulaşır. Yani her 1000 harp başlığından biri savunma sisteminden kaçabilir; ABA ilkesindeki bakma ile atış evreleri arasında yeterli zaman bulunursa bu sonuçlar oldukça iyidir.

Tablo 13’te ve Şekil 15’te belirli bir hücum için sistemin etkililiği ile her bir hedef için tahsis edilen önleyici arasındaki ilişki görülmektedir. Belirli bir hücum için sistemin etkililiği yükseltilmek istenirse her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısının artırılması gerektiği gözlemlenir.

Tablo 11. Hücümde kullanılan harp başlığı sayısı – etkililik. (Tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K=0,8$)

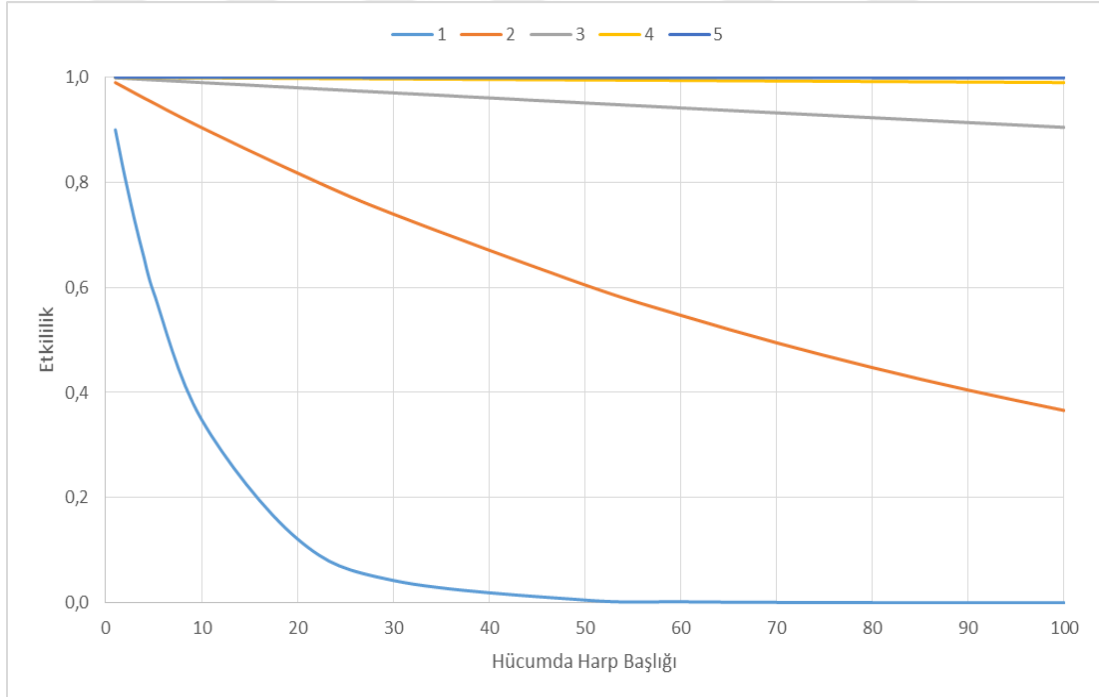
Hücümde Kullanılan Harp Başlığı Sayısı	Her Bir Hedef İçin Tahsis Edilen Önleyici Sayısı				
	1	2	3	4	5
1	0,800	0,960	0,992	0,998	1,000
2	0,640	0,922	0,984	0,997	0,999
3	0,512	0,885	0,976	0,995	0,999
4	0,410	0,849	0,968	0,994	0,999
5	0,328	0,815	0,961	0,992	0,998
10	0,107	0,665	0,923	0,984	0,997
20	0,012	0,442	0,852	0,968	0,994
30	0,001	0,294	0,786	0,953	0,990
50	0,000	0,130	0,669	0,923	0,984
60	0,000	0,086	0,618	0,908	0,981
70	0,000	0,057	0,570	0,894	0,978
80	0,000	0,038	0,526	0,880	0,975
90	0,000	0,025	0,485	0,866	0,972
100	0,000	0,017	0,448	0,852	0,969



Şekil 13. Hücümde kullanılan harp başlığı sayısı – etkililik. (Tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K=0,8$)

Tablo 12. Hücümde kullanılan harp başlığı sayısı – etkililik. (Tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K=0,9$)

Hücümde Kullanılan Harp Başlığı Sayısı	Her Bir Hedef İçin Tahsis Edilen Önleyici Sayısı				
	1	2	3	4	5
1	0,900	0,990	0,999	1,000	1,000
2	0,810	0,980	0,998	1,000	1,000
3	0,729	0,970	0,997	1,000	1,000
4	0,656	0,961	0,996	1,000	1,000
5	0,590	0,951	0,995	1,000	1,000
10	0,349	0,904	0,990	0,999	1,000
20	0,122	0,818	0,980	0,998	1,000
30	0,042	0,740	0,970	0,997	1,000
50	0,005	0,605	0,951	0,995	1,000
60	0,002	0,547	0,942	0,994	0,999
70	0,001	0,495	0,932	0,993	0,999
80	0,000	0,448	0,923	0,992	0,999
90	0,000	0,405	0,914	0,991	0,999
100	0,000	0,366	0,905	0,990	0,999



Şekil 14. Hücümde kullanılan harp başlığı sayısı – etkililik. (Tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K=0,9$)

Tablo 13. Etkililik- her bir hedef için tahsis edilen önleyicinin sayısı. (Tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K=0,8$)

Her Bir Hedef İçin Tahsis Edilen Önleyici Sayısı	Hücumda Kullanılan Harp Başlığı Sayısı				
	1	5	10	50	100
1	0,8000	0,322997	0,104327	0,000	0,000
2	0,9600	0,794359	0,631006	0,100	0,010
3	0,9920	0,960151	0,92189	0,666	0,443
4	0,9984	0,991032	0,982145	0,914	0,835
5	0,9997	0,998002	0,996007	0,980	0,961

2.9. Atış-Bak-Atış ile Salvo İlkeleri Arasında Karşılaştırma

Bu bölümde atış ilkeleri iki farklı açıdan incelenerek karşılaştırma yapılmıştır;

1. Etkililik ve 2. Her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısı.

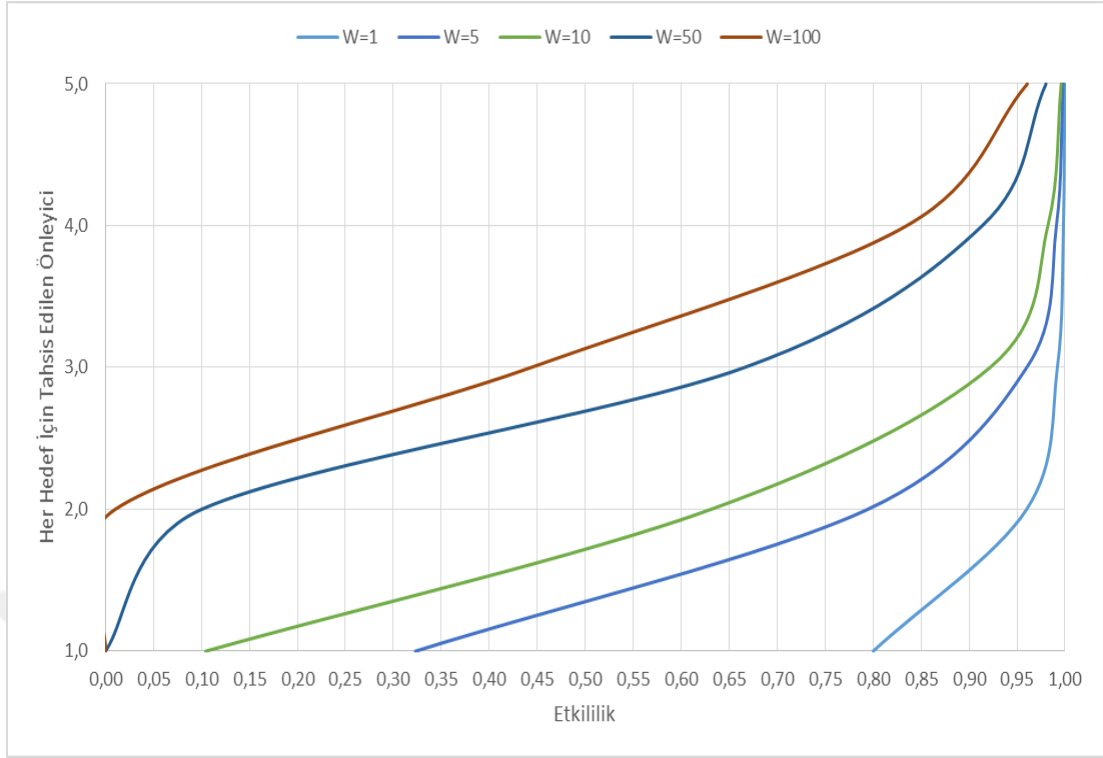
Tablo 14, Tablo 15, Tablo 16, Şekil 16, Şekil 17 ve Şekil 18'e bakarak şu sonuçlara ulaşılır:

1. Sistem etkililiğine göre ABA ilkesi daha yüksek etkililiğe sahiptir. Bu karşılaştırma işlemi aynı koşullar altında ele alınmıştır.
2. Her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısına göre ABA ilkesinde daha az önleyici sayısına gerek duyulmuştur.

Şekil 16'da her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısının 3'ün üzerindeki artışı boyunca ABA ve Salvo etkililiği arasındaki farkın azaldığı görülür. Çünkü Salvo'da önleyici sayısı arttıkça hedefi vurma olasılığı da artacaktır.

Şekil 17'den ve daha önce verilen şekillerden çıkarılacağı üzere aynı koşullarda sistemin doyma noktası ABA'da daha büyüktür. Yani ABA ilkesinde sistemin hücumu caydırma yeteneği daha yüksektir.

Şekil 18'de görüldüğü gibi belirli etkililik ve aynı koşullarda her bir hedefe tahsis edilen önleyici için gereken sayı ABA durumunda Salvo ilkesine göre daha azdır bu ekonomik açıdan daha iyidir.

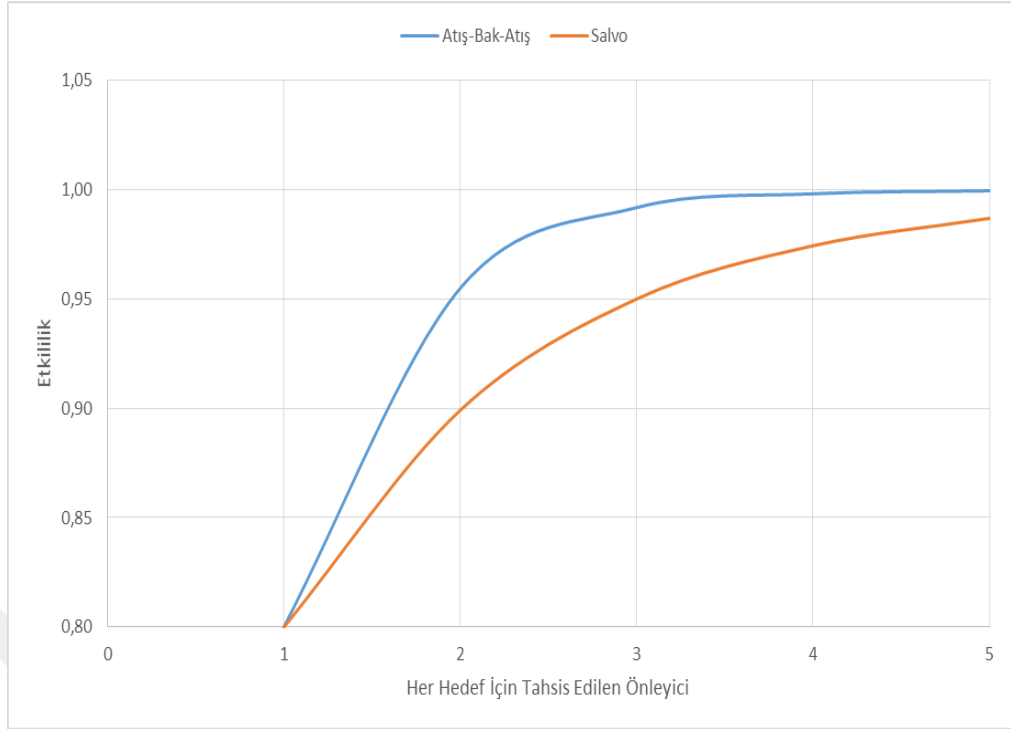


Şekil 15. Etkililik – her bir hedef için tahsis edilen önleyicinin sayısı. (Tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K=0,8$)

Tablo 14. Etkililiğe göre salvo ve ABA. (Tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K=0,8$, ilk atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K_1=0,8$, hücumda kullanılan harp başlığı sayısı: 1)

Önleyici Sayısı	Atış İlkesi	
	Salvo	ABA
1	0,800	0,800
2	0,899	0,955
3	0,950	0,992
4	0,974	0,998
5	0,987	1,000

ABA ile Salvo ilkeleri arasındaki karşılaştırma sonuçları aşağıda özetlenmektedir: 1. Salvo'ya karşı ABA daha etkilidir, 2. Salvo'ya göre ABA kullanıldığında her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısı daha azdır, bu nedenle ABA daha ekonomiktir, 3. ABA durumunda sistemin doyma noktası daha yüksektir. Tablo 19 bu sonuçları göstermektedir.

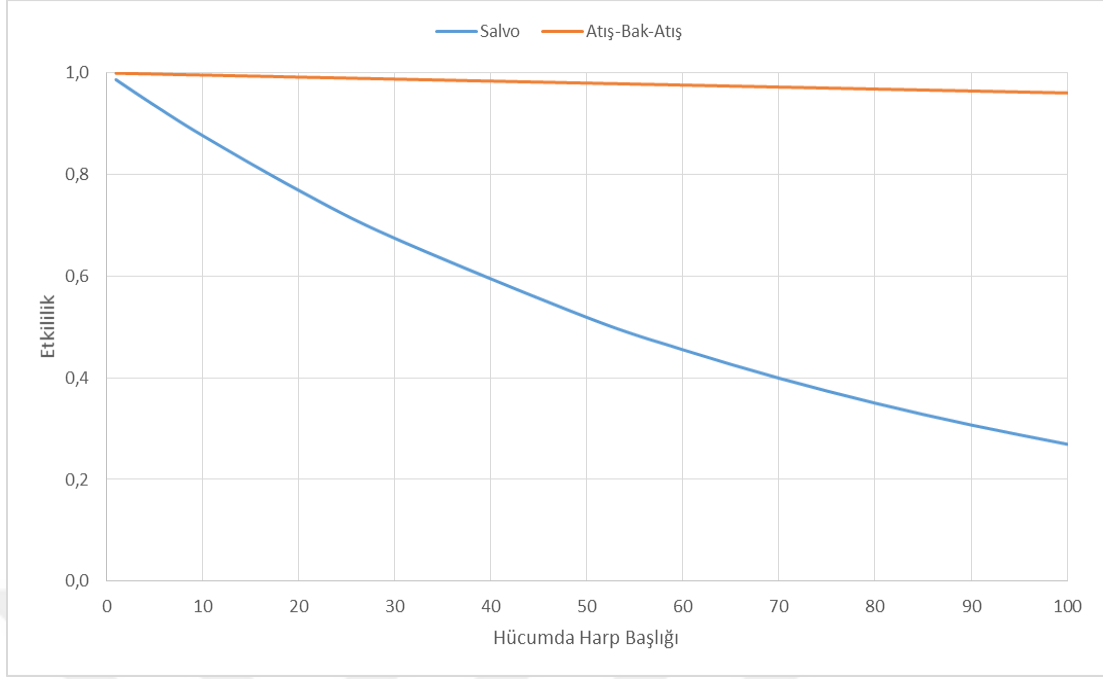


Şekil 16. Etkililiğe göre salvo ve ABA. (Tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K=0,8$, ilk atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K_1=0,8$, hücumda harp başlıkları: 1)

Tablo 15. Etkililiğe göre salvo ve ABA.

(Tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K=0,8$, ilk atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K_1=0,8$, her bir hedef için tahsis edilen önleyici: 5)

Hücumda Harp Başlığı Sayısı	Salvo	ABA
1	0,987	1,000
2	0,974	0,999
3	0,961	0,999
4	0,949	0,998
5	0,937	0,998
10	0,877	0,996
20	0,769	0,992
30	0,675	0,988
50	0,519	0,980
60	0,456	0,976
70	0,400	0,972
80	0,350	0,969
90	0,307	0,965
100	0,270	0,961



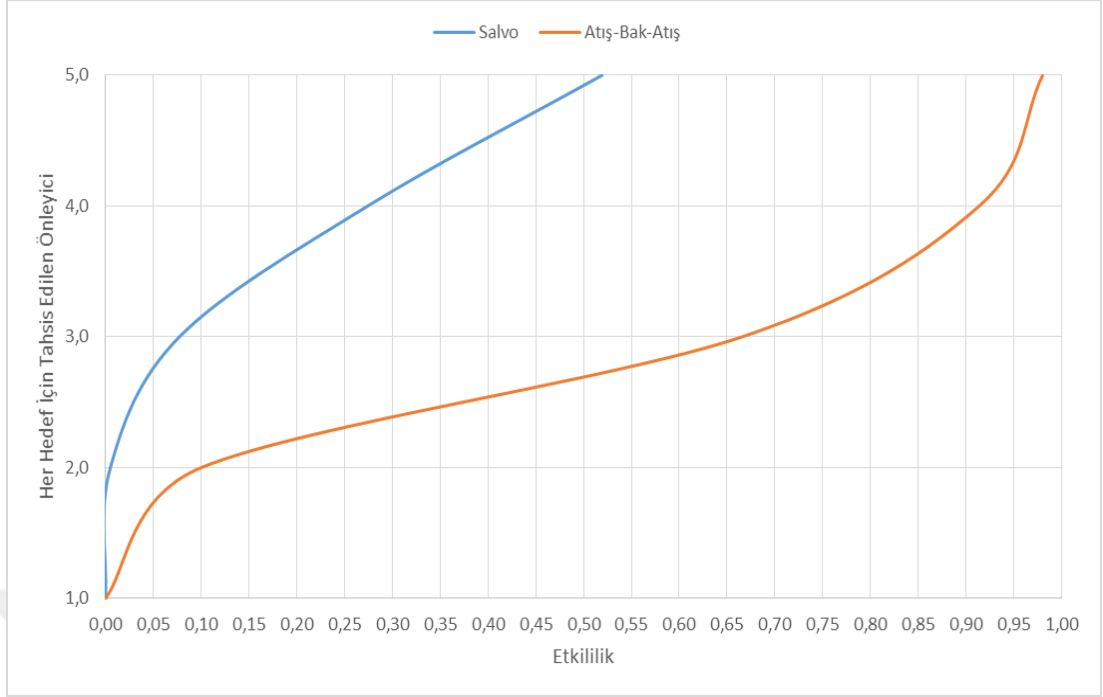
Şekil 17. Etkililiğe göre salvo ve ABA.
(Tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K=0,8$, ilk atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K_1=0,8$, her bir hedef için tahsis edilen önleyici: 5)

Tablo 16. Her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısına göre salvo ve ABA. (Tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K=0,8$, İlk atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K_1=0,8$, Beklenen Hücum Hacmi: 50)

Önleyici Sayısı	Atış İlkesi	
	Salvo	ABA
1	0,000	0,000
2	0,005	0,100
3	0,077	0,666
4	0,274	0,914
5	0,519	0,980

Tablo 17. ABA ile Salvo karşılaştırma

Neye Göre	Atış İlkesi	
	Salvo	ABA
Etkililik	Az	Yüksek
Her Hedef İçin Tahsis Edilen Önleyici	Yüksek	Az
Sistem Doyma Noktası	Az	Yüksek
Teknik Karmaşıklık	Az	Yüksek



Şekil 18. Her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısına göre salvo ve ABA. (Tek atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K=0,8$, ilk atıştaki etkisizleştirme olasılığı $K_1=0,8$, beklenen hücum hacmi: 50)

2.10. BFKSS ile Balistik Füze Saldırı Sistemi Arasında Seçim

Bir ülkede karar vericiler, BFKSS'yi mi kurmalı, balistik füze sistemini mi geliştirmeli, yoksa ikisini birden edinmeye mi çalışmalı konusunda bir seçim yaparken şu dört etkene göre karar verebilir:

1. BFKSS'nin etkililiği,
2. Tehdit düzeyi, yani olası düşmanın balistik füze varlığı,
3. Savunulan hedeflerin niteliği, önemi ve değeri.
4. Ülkenin mali ve teknik varlığı.

Bu etkenlere dayanarak ilgili verilerin toplanması, analizi ve uygun karar seçeneğinin seçilmesi veya seçeneklerin iyilik sıralaması, çok ölçütlü karar verme teknikleri kullanılarak gerçekleştirilebilir. Böyle bir çalışma ise, mevcut araştırmamızın asıl konusu olmayıp, başka çalışmalarda incelenebilir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada BFKSS'nin etkililiği ele alınmış, genel olarak sistem etkililiğinin öğelerinden söz edilmiştir. Etkililik, BFKSS'nin ana görevini yerine getirip getirmediğini test etmek amacıyla kullanılmıştır. Sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Etkililiğin anlamı verilip türleri açıklanmış, hesaplanması için gerekli adımlar belirlenmiş ve BFKSS üzerinde uygulaması yapılmıştır.
2. BFKSS'nin etkililiğini değerlendirmek için uygun bir ölçüt belirlenmiş; bu ölçüt önleyicinin etkisizleştirme olasılığıdır.
3. ABA durumunda, sistem eksiksiz bir biçimde görevleri yaptığını kabul ederek model kurulmuştur, demek ki atış ile bakma evreleri arasında zaman değerlendirme yapmak ve karar vermek için yeterli olmaktadır, önleyicinin etkisizleştirme olasılığı hedefin hızına bağlı olmamaktadır, BFKSS'nin her atıştan sonra değerlendirme, izleme ve yönlendirme görevleri tam yerine getirilmektedir, önleyicinin etkisizleştirme olasılığı her bir atış için sabit bir değer olarak kabul edilmektedir.
4. Salvo durumunda, önleyici aynı anda fırlatıldığına göre etkisizleştirme olasılığının rastgele değişkenler olduğu kabul edilerek model kurulmuştur.
5. Kurulan modellere Excel yazılımı kullanılarak benzetim yapılmış, etkililik ölçümü ile ilgili eğriler çıkarılmış; bu eğriler, BFKSS'nin iki atış ilkesinin karşılaştırılmasında kullanılmıştır.
6. Çalışmanın gidişatında da açıkça görüldüğü üzere ABA ilkesi daha etkili ve daha ekonomiktir. Çünkü her bir hedef için tahsis edilen önleyici sayısı daha az ve sistemin doyma noktası daha yüksektir. Engellenebilecek balistik füze sayısı daha fazla olduğundan sistemin balistik saldırıyı engellemedeki yeteneği de daha yüksektir.
7. Ülke temelinde balistik saldırı tehdit düzeyi, BFKSS'nin etkililiği, ülkenin mali ve teknik varlığı ve savuulan hedeflerin önemine göre balistik füze

saldırı sistemini caydırıcı olarak geliştirmeye ve/veya BFKSS'yi kurmaya karar verebilir. Ancak bu etkenlere dayanarak ilgili verilerin toplanması, analizi ve uygun karar seçeneğinin seçilmesi veya seçeneklerin iyilik sıralaması, çok ölçütlü karar verme teknikleri kullanılarak gerçekleştirilebilir. Böyle bir çalışma ise, mevcut araştırmamızın asıl konusu olmayıp, başka çalışmalarda incelenebilir.

Bu çalışmada bazı varsayımlar kabul edilmiştir; bu varsayımlar gerçek bir uygulama için farklılık gösterebilir. Ancak burada araştırma amacına bağlı olarak, çalışmayı kolaylaştırmak için sonuçları etkilemeden çalışmanın yürütülebilmesi amacıyla bazı varsayımlarda bulunulmuştur. Bu varsayımların kaldırılmasının etkisini öğrenmek ve gerçek bir savaşa yakın sonuçlar elde etmek için sonraki araştırmalarda şu konular üzerinde çalışma yapılması öneri olarak sunulmaktadır:

1. Çalışmada, hedefin hızı ve önleyicinin fırlatma yerinden uzaklığı durumlarının, saldırıyı etkisizleştirme olasılığını etkilemediği varsayımlarında bulunulmuştur. Bu varsayımlara bakılarak ABA'nın her atışında etkisizleştirme olasılığı sabit olarak kabul edilmiştir. Buna göre üzerinde çalışılması için şu konu önerilmektedir "Salvo ilkesine göre ABA ilkesi daha etkili ve daha ekonomiktir" cümlesinin doğruluk derecesi ve sınırları test edilebilir.
2. Çalışmada, ABA ilkesi uygulandığında BFKSS'nin her atıştan sonra değerlendirme, izleme ve yönlendirme görevlerinin kusursuz çalıştığı kabul edilmiştir; "Eğer hedef hakkında eksik bilgiler sisteme ulaştırılırsa sistemin etkililiği nasıl etkilenmektedir?" Bu konu da ele alınabilir.

KAYNAKÇA

- Akın, B. (1998). *ISO 9000 uygulamasında işletmelerde hata türü ve etkileri analizi*. İstanbul: Bilim Teknik Yayınevi.
- Al, E. (2021, 15 October). Survivability. Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK). Erişim adresi: <https://www.sebokwiki.org>
- Ballistic missile. (2021, September 9). Wikipedia. Erişim adresi: <https://en.wikipedia.org>
- Berger, Z. (2017). Missile Threat and Proliferation: Today's Missile Threat: North Korea. Missile Defense Advocacy Alliance. Erişim adresi: <https://missiledefenseadvocacy.org/>
- Brown, K. W. (1995). *Measuring the Effectiveness of Weapons Systems in Terms of System Attributes*. NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL MONTEREY CA.
- Collins Dictionary. Harper Collins Publishers. Erişim adresi: <https://www.collinsdictionary.com>
- Dordick, H. S. (1965). An introduction to system effectiveness. RAND Corporation. Erişim adresi: <https://www.rand.org/pubs/papers/P3237.html>
- Director, Operational Test and Evaluation Office of the Secretary of Defense. (2015). Assessment of the Ballistic Missile Defense System. Washington:. Erişim adresi: <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA617330>
- El-Sayed, M. S. ve Ali, A. M. (2006). Measuring of system effectiveness: a preview. *Production Engineering ve Design for Development, PEDD* 7, 414-431. Cairo: Faculty of Engineering-Ain Shams University.
- Encyclopedia Britannica. (2019, May 22). Erişim adresi: <https://www.britannica.com/science/ballistics>.
- Federation of American Scientists. (2000). Missile. Erişim adresi: <https://fas.org>
- Gansler, J. S. (2010). Ballistic Missile Defense - Past and Future. Washington: the Director, Operational Test and Evaluation Office of the Secretary of Defense. Erişim adresi: <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA527876>
- Geller, P. J. (2021). Index of US Military Strength: Ballistic Missile Defense. Washington: The Heritage Foundation. Erişim adresi: <https://www.heritage.org/military-strength>
- Green, J. M. ve Stracener, J. (2019, May)., 15th Annual Acquisition Research Symposium. "A framework for a defense systems effectiveness modeling and analysis capability - systems effectiveness modeling for acquisition," Naval Postgraduate School, CA, United States.

- H. Paul Barringer, P. E. (1997). Availability, Reliability, Maintainability, and Capability. Texas: Triplex Chapter of the Vibrations Institute.
- Holland, O. T., Wallace, S. E. (2011, September). Using Agents to Model the Kill Chain of the Ballistic Missile Defense System. *Naval Engineers Journal*, s. 141-151.
- Horitski, K. (2015). Missile Threat and Proliferation: Today's Missile Threat: Russia. Missile Defense Advocacy Alliance: <https://missiledefenseadvocacy.org/> adresinden alındı
- Kailash C. Kapur, M. P. (2014). *Reliability Engineering*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Lewis, G. N. (2017). *Ballistic missile defense effectiveness*. AIP Conference. American Institute of Physics.
- Missile Defense Agency. (2018). Fact Sheets: The Ballistic Missile Defense System. Erişim adresi: <https://www.mda.mil>
- Missile Defense Advocacy Alliance. (2018, 14 Ağustos). Erişim adresi: <https://missiledefenseadvocacy.org>
- Missile Defense Systems at a Glance. (2019, August). the Arms Control Association: <https://www.armscontrol.org> adresinden alındı
- Missile Defense: Japan Ministry of Defense. (2020). Erişim adresi: <https://www.mod.go.jp/en>
- Oxford Learner's Dictionaries. Erişim adresi: <https://www.oxfordlearnersdictionaries.com>
- Özden, K. ve GÜL, S. (2014). *Yöneylem Araştırması - I*. İstanbul: Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti.
- Özden, K. (2021). *Toplam Kriz Yönetimi*. İstanbul: Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti.
- Pathan, A. (2009, July). Free flight trajectory of a ballistic missile. *The Mathematical Gazette*, s. 244-255.
- Paul Phister, D. O. (2021). System Reliability, Availability, and Maintainability. Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK). Erişim adresi: <https://www.sebokwiki.org>
- Reif, K. (2019, August). Missile Defense Systems at a Glance. Arms Control Association. Erişim adresi: <https://www.armscontrol.org>

Seren, M. (2015). Türkiye'nin Füze Savunma Sistemi (İhale Süreci, Temel Dinamikler ve Aktörler). Ankara: Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı (SETA).

Türk Dil Kurumu Sözlükleri. Erişim adresi: <https://sozluk.gov.tr>.

Walter L. Perry, R. W. (2002). Measures of Effectiveness for the Information-Age Navy: The Effects of Network-Centric Operations on Combat Outcomes. RAND Corporation .

Wayne J. Pavalko, K. R. (2000). Theater Ballistic Missile Defense analyses. Johns Hopkins Apl Technical Digest, pp. 261-268.

Webb, D. (2017). Missile Threat and Proliferation: Today's Missile Threat: China. Retrieved from Missile Defense Advocacy Alliance: <https://missiledefenseadvocacy.org/>

Wilkening, D. A. (1998). A Simple Model For Calculating Ballistic Missile Defense Effectiveness. California: the Center for International Security and Cooperation at Stanford University.

Wright, D. (2014, June 19). An Introduction to Ballistic Missiles. Nuclear Weapons and Global Security Webinars. Union of Concerned Scientists.

Yao Jian, H. Q. (2015, September 9). Analyzing Ballistic Missile Defense System Effectiveness Based on Functional Dependency Network Analysis. The Open Cybernetics & Systemics Journal, s. 678-682.

EKLER LİSTESİ

Ek 1.	Salvo Benzetimin Tablosu (ilk atışta etkisizleştirme olasılığı =0,6)	53
Ek 2.	ABA Benzetimin Tablosu (Tek atışta etkisizleştirme olasılığı =0,6)	55



Ek 1 – Salvo Benzetimin Tablosu (ilk atışta etkisizleştirme olasılığı =0,6)

Deneme No.	K1	K2	K3	K4	K5
1	0,600	0,691	0,198	0,395	0,73
2	0,600	0,5	0,974	0,927	0,327
3	0,600	0,717	0,461	0,864	0,052
4	0,600	0,656	0,688	0,438	0,817
5	0,600	0,442	0,234	0,401	0,302
6	0,600	0,522	0,472	0,784	0,777
7	0,600	0,649	0,025	0,21	0,379
8	0,600	0,792	0,839	0,999	0,86
9	0,600	0,914	0,086	0,284	0,467
10	0,600	0,654	0,101	0,038	0,023
.
.
.
.
1000	0,600	0,433	0,213	0,665	0,659

Deneme No.	e1	e2	e3	e4	e5
1	0,600	0,876	0,901	0,940	0,984
2	0,600	0,800	0,995	1,000	1,000
3	0,600	0,887	0,939	0,992	0,992
4	0,600	0,862	0,957	0,976	0,996
5	0,600	0,777	0,829	0,898	0,929
6	0,600	0,809	0,899	0,978	0,995
7	0,600	0,860	0,863	0,892	0,933
8	0,600	0,917	0,987	1,000	1,000
9	0,600	0,966	0,969	0,977	0,988
10	0,600	0,862	0,876	0,880	0,883
.
.
.
.
1000	0,600	0,773	0,822	0,940	0,980

E1	E2	E3	E4	E5
0,600	0,803	0,899	0,950	0,974

k_i : Önleyici i. atıftaki etkisizleştirme olasılığıdır. Birinci atış dışında tüm atışta bilgisayar tarafından rastgele üretilmektedir. Tüm etkisizleştirme olasılığı üretilmesinde şu işlev kullanılmaktadır: **randbetween(0;1000)/1000**.

e_i : her deneme için i tane önleyici kullanıldığında sistemin etkililiğidir.

$$e_i = 1 - (1 - k_1)(1 - k_2) \dots (1 - k_i)$$

E_i : tüm deneme için i tane önleyici kullanıldığında sistemin etkililiğidir.

$$E_i = \text{ortalama}(e_i) = \frac{\sum e_i}{1000}$$



Ek 2 – ABA Benzetimin Tablosu (Tek atışta etkisizleştirme olasılığı =0,6)

K	E1	E2	E3	E4	E5
0,60	0,6000	0,8400	0,9360	0,9744	0,9898
0,70	0,7000	0,9100	0,9730	0,9919	0,9976
0,80	0,8000	0,9600	0,9920	0,9984	0,9997
0,90	0,9000	0,9900	0,9990	0,9999	1,0000
0,99	0,9900	0,9999	1,0000	1,0000	1,0000

k : Önleyici tek atışta etkisizleştirme olasılığıdır. Sabit olarak sayılmaktadır.

E_i : her deneme için i tane önleyici kullanıldığında sistemin etkililiğidir.

$$E_i = 1 - (1 - k)^i$$

