

# Hava Savunma Sistemlerinin Performansının Entropi Ağırlıklı TOPSIS Yöntemi İle Değerlendirilmesi

## Evaluation of the Performance of Air Defense Systems Using the Entropy Weighted TOPSIS Method

Ayşe EDİZ<sup>1</sup>  Şenol ALTAN<sup>1\*</sup>  Salih TAŞDEMİR<sup>1,2</sup> 

<sup>1</sup>Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Hava Kuvvetler Komutanlığı, Ankara, Türkiye

### Makale Bilgisi

Araştırma makalesi  
Başvuru: 14.03.2024  
Düzeltilme: 10.09.2024  
Kabul: 13.11.2024

### Önemli Noktalar

İlk on sıralamada yer alan Türkiye menşeli Siper ve Hisar hava savunma sistemleri, hava savunma alanında öncü olan İsrail, Rusya, ABD, Çin gibi ülkelerin ürettiği sistemler arasında iyi bir performans sergilediği görülmektedir. Bu sistemlerin hareket alanında etkinliği kanıtlandığında ve seri üretim ile maliyeti azaldığında performansın daha da artması yanında Türkiye'nin hava savunma alanında dışa bağımlılığını azaltması da muhtemeldir.

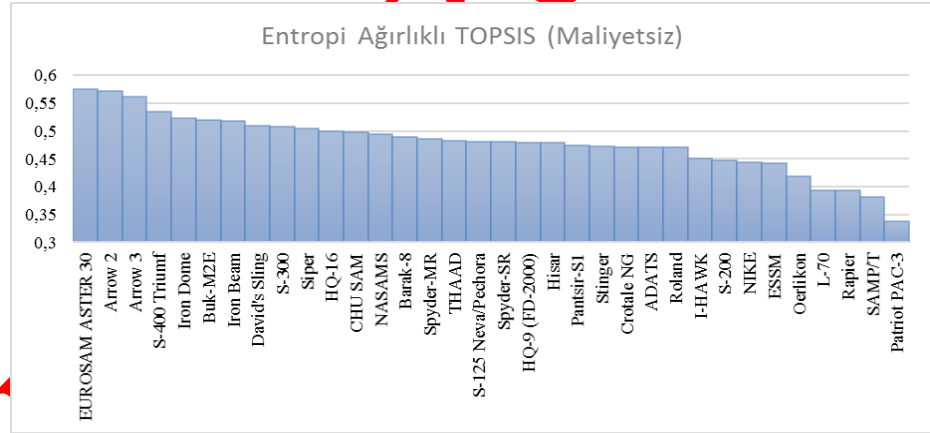
### Keywords

Air Defense Systems,  
Performance Criteria,  
Air Defense Systems  
Feature,  
Entropy,  
TOPSIS

### Anahtar Kelimeler

Hava Savunma Sistemleri  
Performans Kriterleri,  
Hava Savunma Sistemleri  
Özellikleri,  
Entropi,  
TOPSIS

### Grafiksel Özet



### Özet

Etkili bir hava savunma sisteminin performansı ise birçok kritere bağlıdır. Bu çalışmada bir hava savunma sistemi üzerinde etkili olan kriterler dikkate alınarak karar verme problemi matematiksel olarak çözülmüştür. Dünya savunma sektörü piyasasında bulunan hava savunma sistemlerinden verilerine ulaşılabilen 34 sistem, çalışmanın alternatiflerini oluşturmuştur. Modelin kriterleri ise dört ana başlık altında ele alınmıştır. Radar faktörü altında 3, füze ve mermi grubu faktörü altında 3, maliyet faktörü altında 2 ve son olarak lojistik faktörü altında 2 olmak üzere toplam 10 kriter performans değerlendirme için kullanılmış ve bu değerlendirme TOPSIS yöntemi ile yapılmıştır. Her bir kriterin performans üzerindeki önem düzeyi Entropi yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

### Abstract

The performance of an effective air defense system is contingent upon numerous criteria. This study addresses the decision-making problem by mathematically solving the criteria influencing an air defense system's effectiveness. Data from 34 air defense systems available in the global defense sector market form the alternatives for this study. The criteria of the model are categorized into four main headings. Under the radar factor, three criteria are considered; under the missile and projectile group factor, three criteria are taken into account; under the cost factor, two criteria are considered; and finally, under the logistics factor, two criteria are included. In total, 10 criteria are utilized for performance evaluation, and this assessment is conducted using the TOPSIS method. The significance level of each criterion on performance is determined using the Entropy method.

\*Corresponding author, e-mail: senol.altan@hbv.edu.tr

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Geçmişten günümüze yeryüzündeki tüm devletlerin en öncelikli konularından birisi ülke savunması olmuştur. Bir ülkenin savunması ne kadar güçlü ise dışarıdan gelecek her türlü tehdide karşı coğrafi ve siyasi varlıklarını sürdürmeleri de o kadar güçlü olacaktır. Bu tehditlere karşı ülkeler iki türlü önlem almaktadır. Bunlardan ilki siyasi ilişkiler olup uluslararası diplomasi ve hukuk aracılığıyla ülke güvenliğini sağlamak, diğeri ise siyasi yolla çözüm bulunamadığında askeri yollara başvurmaktır. Ülke güvenliğinin ve çıkarlarının askeri yollar ile sağlanması ihtimaline karşın her ülke, diğer ülkelerin askeri güçlerini de dikkate alarak sahip olduğu askeri güçlerini geliştirmeye ve günün şartlarına uygun teknolojik değişimlerle güçlü bir savunma sistemi kurmaya yönelmişlerdir. Ülkenin dışarıdan gelecek her türlü tehdide karşı savunmasında belirleyici rol oynayan savunma sanayii ne kadar güçlü ise ülkenin uluslararası arenada belirleyici rolü de o kadar yüksek olacaktır.

Güçlü bir ülke savunmasında kara, deniz ve hava hâkimiyetinin eş zamanlı olarak sağlanması gerekmektedir. Bu savunmada hava hâkimiyetinin diğerlerine göre öneminin daha büyük olduğu, öne sürülen tezlerden biridir [1]. Bu tezde iyi bir hava savunma sisteminin kara ve deniz hâkimiyetini de içerdiği ve hava savunmasının harekât ve erişim kabiliyetinin kara ve deniz savunmasına göre daha hızlı, kolay ve esnek olduğu ifade edilmektedir. Ayrıca hava savunmasında kullanılan uçak ve füze teknolojilerindeki gelişmeler savunma sistemlerinin önemini ve performansını günümüzde çok daha fazla arttırmıştır. Böylece

hava savunma sistemleri dünya genelinde ülkelerin güvenliğinin temel taşlarından biri haline gelmiştir. Hava savunma sistemleri bir ülkenin ve dost unsurların bulunduğu hava sahasını dışarıdan gelecek tüm tehditlere karşı gözetlemesini, korumasını ve savunmasını sağlayan bir yapıyı ifade etmektedir. Bu yapı ne kadar güçlü ise ülkenin savunma gücü ve var olan tehdidi fiili bir çatışmaya girmeden caydırma becerisi de o kadar yüksek olacaktır. Bu ihtiyaçlara cevap verecek iyi bir hava savunma sisteminin seçilip ülke savunmasında kullanılması ise önemli bir karar verme sürecidir. Bu karar verilirken farklı analizler yapılmaktadır. Bu analizlere karşılaştırmalı, stratejik planlama, operasyonel, teknolojik ilerleme, ulusal güvenlik ve tehdit, pazar araştırması ve eğitim/personel analizleri örnek verilebilir. Tüm bu analiz türleri, işin uzmanları tarafından kişisel uzmanlık ve kişisel deneyimlere dayanılarak yapılmaktadır. Bu tür değerlendirilmelerde yanlışlık ve hata payı olma olasılığı yanında karar verme süreci de uzayabilmektedir. Böyle bir değerlendirmeyi yansız ve en az hata ile ayrıca daha kısa zamanda yapmanın bir yolu matematiksel modellerden yararlanmaktır. Bir hava savunma sistemine karar verilirken birçok faktör eş zamanlı olarak değerlendirilmeye tabi tutulmaktadır. Bu faktörlerin sisteme etkisinin önem derecesi ise hedeflenen amaca göre farklılık gösterebilmektedir. Çok kriterli karar verme modelleri (ÇKKV) ise böyle bir yapının matematiksel olarak incelenmesine olanak veren modellerdir.

ÇKKV modelleri birden fazla kriterin olduğu durumda tüm bu kriterlerin en iyilendiği çözüm kümeleri içinden en iyi alternatifin seçilme

işlemdir. Literatürde kullanılan birçok ÇKKV modeli bulunmaktadır. Bu modellerden hangisinin kullanılacağına ise problemin yapısına ve özelliklerine göre karar verilmektedir. ÇKKV modellerinden biri olan TOPSIS modelinde alternatiflerin hem en iyi hem de en kötü yönleri hesaba katılarak, karar vericilerin farklı kriterlere göre değerlendirilen alternatifler arasından bir seçim veya sıralama yapmasına olanak verilir.

Hava savunma sistemlerinin bir bütün olarak değerlendirilmesinde sistemi etkileyen birçok kriter göz önünde bulundurularak hangi sistemin kullanılmasına ya da satın alınmasına karar verilmektedir. Karar verme süreci matematiksel olarak ÇKKV süreciyle paralellik göstermektedir. Bu nedenle hava savunma sistemlerinin performansını değerlendirmek için ÇKKV modeli kullanılmıştır. Bu modellerden biri olan TOPSIS modeli ise alternatiflerin pozitif ve negatif yönlerini de hesaplama dahil ettiği için tercih edilmiştir. Bunun yanında her bir kriterin hava savunma sisteminin performansına etkisi eşit olmamaktadır. Bu etkilerin hesaplanmasında iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan ilki uzman görüşüne başvurmaktır. Diğer ise kriter ağırlıklarının matematiksel olarak hesaplanmasıdır. Uzman görüşü kişiye, ülkeye, bilgi seviyesine, coğrafi şartlara, tehdit beklentisine, önceliklere vb. etmenlere bağlı değiştiği için değişiklik gösterebilmektedir. Fakat matematiksel olarak sayısal veriler kullanılarak yapılan hesaplamada böyle bir değişiklik söz konusu değildir. Bu nedenle kriterlerin ağırlıklarının hesaplanmasında Entropi yöntemi kullanılmıştır.

Bu çalışmada literatürde yer alan çalışmalar incelenmiş, hava savunma sistemleri ve amaçları

bahsedilerek iyi bir hava savunma sistemi seçiminde dikkate alınan faktörler belirlenerek dünya genelinde piyasaya sürülen 34 hava savunma sisteminin performans değerlendirmesi TOPSIS modeli ve Entropi yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı rekabetçi unsur halinde olan hava savunma sistemlerini birçok faktörün dikkate alınarak değerlendirmesini, etkinlik sıralamasını yapmak, savunma planlama faaliyetleri açısından tedarik edilecek sistem etkinliğini tespit ederek karar vericilere yol göstermek, hava taarruz planlayıcıları açısından hava savunma sistemlerinin etkinliği açısından farkındalık sağlamaktır. Bu hava savunma sistemleri modelin alternatiflerini oluştururken sistemin performansı üzerinde etkili olan unsurlar ise modelin kriterlerini oluşturmuştur. Bu kriterler, radar, füze/mermi grubu, mali ve lojistik faktörler olmak üzere dört başlık altında tanımlanmıştır. Radar grubu altında radar menzili, aynı anda angaje edilebilir hedef sayısı ile teknolojik ve yazılım gelişmişliği/elektronik harp dayanıklılığı kriterleri alınırken, füze/mermi grubunda etkili menzil, irtifa ve hedefleri vurma başarısı kriterleri bulunmaktadır. Mali faktör başlığı altında maliyet ve bir adet sistem için gerekli insan gücü sayısı kriterler olarak belirlenmiştir. Son olarak lojistik faktör grubu altında alınan kriterler ise yeniden mevzilenme süresi ile diğer sistemlerle entegrasyon/lojistik ve bakım kolaylığıdır. Öncelikle eşit ağırlıklı yaklaşımla problem çözülmüştür. Daha sonra tüm bu kriterlerin hava savunma sistemi üzerindeki önem derecesini belirlemek için Entropi yöntemi kullanılarak kriter ağırlıklandırılması yapılmıştır. Ülke savunmasında nokta veya bölge savunmasının etkinliğinin daha önemli olduğu

durumda maliyet göz ardı edilebilmektedir. Bu nedenle maliyet kriteri modelde iki türlü kullanılmıştır. İlk modelde maliyet kriteri yer alırken, ikinci modelde maliyet kriteri dikkate alınmamıştır.

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ (LITERATURE RESEARCH)

Hava savunma sistemlerinin performans değerlendirmesinin matematiksel modeller aracılığı ile yapılması amacıyla yönelik literatürde ulusal ve uluslararası yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Burada, Türkiye’de çok kriterli karar verme teknikleri kullanılarak yapılmış temel çalışmalar verilmiştir. Hava savunma sistemi piyasasında çok sayıda sistem olmasına karşın Türkiye’de yapılan bu çalışmalar genel olarak incelendiğinde bu sistemlerin çok azının modeller çerçevesinde incelendiği görülmektedir. Bunun yanında hava savunma sistemlerinin performansı üzerinde etkili olan her bir kriterin modele dahil edilmesi modelin çözüm sonuçlarının daha güvenilir olmasına yol açacaktır. Bu kriterlerin sayısal verilerine ulaşmak her zaman mümkün olmayabilir. Bu nedenle yapılan çalışmalarda kullanılan kriterler ve bu kriterlerin sayıları farklılık göstermektedir. Dört hava savunma sistemi, menzil, basitlik, dayanıklılık, birlikte çalışabilirlik, ergonomi, geliştirilebilirlik yeteneği, ağırlığı, bakım kolaylığı, yedek parça temin kolaylığı kriterleri olmak üzere dokuz kriter baz alınarak AHP yöntemi ile değerlendirilmiş ayrıca nokta hava savunması için hedef programlama modeli kullanılarak hangi sistemden ne kadar adet gerekli olduğuna çözüm aranmıştır [2].

Kalite, maliyet, tedarik süresi, insan gücü, teknoloji kriterleri olmak üzere beş kriter temel

alınarak bu kriterler AHP ile ağırlıklandırılmış, bulanık mantık ve hedef programlama modeli ile problem çözümü yapılmıştır [3].

Beş hava savunma sistemi, maliyet, menzil, irtifa, maksimum hız, füze ağırlığı, radar menzili kriterleri temel olarak alınmış olup AHP ile kriter ağırlıklandırılması yapılarak TOPSIS, Ağırlıklı Çarpım, ELECTRE yöntemleri ile hava savunma sistemi seçim işlemi yapılmıştır [4].

Dört hava savunma sisteminin, füze menzili/irtifası, teknoloji paylaşımı, füze etkinliği, Milli/NATO sistemlerine uyumluluk, radar kapsama alanı ve teknolojisi, maliyet, reaksiyon zamanı, atma hazır füze sayısı, aynı anda angaje olunan hedef sayısı kriterleri temel alınarak sistemlerin performansı araştırılmıştır. Kriter ağırlıklandırmaları AHP ile yapılmış sistemlerin performans sıralaması ise TOPSIS ile yapılmıştır [5].

Hava savunma sistemlerini genel olarak nokta hava savunma sistemleri, orta menzilli bölge hava savunma sistemleri ve uzun menzilli bölge hava savunma sistemleri olarak tanımlanmış ve hava savunma sistemlerinin konuşlanması için genetik algoritma kullanarak bir algoritma geliştirilmiştir [6].

Nokta ve bölge savunması için doğrusal olmayan programlama modeli ile iki farklı yöntem sunarak karşılıklı destek mesafesi modeli önermiştir [7].

Hava savunma sistemlerinin tarihsel gelişimi ve dünyadaki bazı hava savunma sistemlerinin özellikleri sözel olarak anlatılmıştır [8].

Bu çalışmada olabildiğince fazla sayıda kriter dikkate alınmış, kişisel görüşlere göre değişebilecek ağırlıklandırma metodu kullanılmamış ve çok fazla sayıda ve kullanımda

olan hava savunma sistemlerinin performans ölçümü yapılmıştır.

### **3. HAVA SAVUNMA SİSTEMLERİ VE AMAÇLARI (AIR DEFENSE SYSTEMS AND THEIR PURPOSE)**

Hava savunma sistemleri; bir ülkenin kendi hava sahası ve dost unsurların bulunduğu hava sahasını dışarıdan gelecek tüm tehditlere karşı koruma ve gözetleme, savunma, caydırma ve hava üstünlüğü sağlama amacına hizmet eden bir yapıyı ifade etmektedir. Bu yapılanmada koruma ve gözetleme amacıyla hava sahası yılın her günü yirmi dört saat takip edilerek hava sahası kontrol edilmektedir. Savunma amacında ise kriz ve savaş durumlarında dışarıdan gelen hava saldırılarının bertaraf edilerek, kritik tesis, alt yapı, ülke sınırlarının ve toplumun korunması hedeflenmektedir. Caydırıcılık amacına yönelik olarak da olası bir düşman saldırısı karşısında bu saldırıyı güçleştirme, yavaşlatma, yıpratma ve dost unsurların daha az kuvvetle görev yapabileceği avantajını sağlamak amaçlanmaktadır. Son olarak hava üstünlüğüne katkıda bulunmada ise düşman unsurların hava üstünlüğünü engellemek ve dost unsurların hava hakimiyetinin sağlanması hedeflenmektedir.

Hava savunması kara ve deniz savunmasına göre hareket kabiliyeti açısından daha esnek bir yapıdadır. Çünkü hava savunmasının karadan ve denizden hareket etme olanağı varken aynı zamanda havadan da hem karaya hem de denize erişebilme kolaylığı vardır. Ayrıca askeri alanda kullanılan uçak ve füze teknolojisinin gelişimi ile hava savunma sistemlerinin teknolojik performansları da artmıştır. Bunlar ise hava savunmasının ülke savunmasındaki yerini ve

önemini gittikçe artırmıştır. Bu haliyle bir ülkenin sahip olduğu iyi bir hava savunma sistemi dost olmayan tüm diğer ülkeler için önemli bir tehdit ve caydırıcılık unsuru haline gelmiştir. Bunun bir sonucu olarak ülkeler dışarıdan gelecek olası bir tehlide karşı daha hızlı, etkin, yıpratıcı ve caydırıcı bir önlem almak amacıyla ya kendi sahip oldukları hava savunma sistemlerini geliştirme ya da yeni hava savunma sistemlerini satın alma yoluna giderek her türlü tehdidi bertaraf etme gayretine düşmüşlerdir [9].

### **4. İYİ BİR HAVA SAVUNMA SİSTEMİ SEÇİMİNDE DİKKATE ALINAN TEMEL FAKTÖRLER (KEY FACTORS CONSIDERED IN SELECTING A GOOD AIR DEFENCE SYSTEM)**

Bir hava savunma sistemini üstün kılan temel faktörlerden biri sistemin sahip olduğu özellikler ve diğeri ise sistemden istenilen beklentilere cevap vermesidir. Sistemin sahip olduğu özelliklerden bir kısmının etkisinin en üst düzeyde olması beklenirken bir kısmının ise daha az etkili olması beklenir. Bu faktörlerin hepsinin eş zamanlı sağlanması sistemin hem maliyetini artıracak hem de zaman alacaktır. Bunların yanında sistemi satan ve sistemi alan ülkeler arası ikili anlaşmaların seyri de sistemin tedariki üzerinde etkilidir. Tüm hava savunma sistemlerine ilişkin literatür tarandığında ve bu konuda uzman görüşleri araştırıldığında bir hava savunma sisteminin sahip olması gereken temel özellikler dört başlık altında toplanabilir. Bunlar; radar, füze/mermi gurubu, mali ve lojistik faktörleridir. Bu temel faktörler ve bu faktörlerin altındaki alt faktörler Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1:** Hava savunma sistem seçimine etki eden temel faktörler.

Radar Faktörü	Füze veya Mermi Grubu Faktörü	Mali Faktör	Lojistik Faktör
Radar Menzili	Etkili Menzil	Maliyet	Yeniden Mevzilenme Süresi
Aynı Anda Angaje Edilebilir Hedef Sayısı	İrtifa	Bir Sistem İçin Gerekli İnsangücü	Diğer Sistemlerle Entegrasyon/ Lojistik ve Bakım Kolaylığı
Teknolojik ve Yazılım Gelişmişliği/ Elektronik Harp Dayanıklılığı	Hedefleri Vurma Başarısı		Kullanım Kolaylığı
Radar Hedef Takip Menzili	Üretim Yılı		Geliştirilebilir Yeteneği
Aynı Anda Takip Edilebilen Hedef Sayısı	Füze/Mühimmatın Ömrü		Teslim Süresi
	Atıma Hazır Füze/Mermi Sayısı		Reaksiyon Süresi

Kaynak: Bu sınıflama araştırmacı tarafından literatür taramasına dayanılarak yapılmıştır.

#### 4.1. Hava Savunma Sisteminde Radar Faktörü

Bir hava savunma sisteminde radar, hava sahasındaki her türlü hava unsurunun tespit, teşhis ve takip edilmesi olanağını sağlamaktadır. İyi bir radar kabiliyetinde “Radar Menzili”, aynı anda angaje edilebilen hedef sayısı, teknolojik ve yazılım gelişmişliği ile harp dayanıklılığı, radar hedef takip menzili, aynı anda takip edilebilen hedef sayısı önemli değişkenler olarak ortaya çıkmaktadır. Radar menzili değişkeni, sistemin hava sahasını ne kadar etkili bir şekilde izleyebildiğini belirlemektedir ve bu değişkenin etkisinin en yüksek düzeyde olması beklenmektedir. “Aynı Anda Angaje Edilebilen Hedef Sayısı”, sistemin eş zamanlı olarak karşıdan gelen çok sayıdaki tehdidi bertaraf etmesi yanında daha az sayıda hava savunma sistemi veya hava aracı ihtiyacı ortaya çıkarması nedeniyle kuvvet tasarrufu sağlaması açısından önemli katkı sağlamaktadır ve bu değişkenin sistem üzerindeki etkisinin en büyük olması beklenmektedir. Teknolojik ve Yazılım Gelişmişlik/Elektronik Harp Dayanıklılığı” ise radarın yazılım gelişmişliğini ve üstünlüğünü

göstermektedir. Üretim yılı ile doğru orantılı olduğu varsayılmıştır. Bu üstünlüğün mümkün olduğunca en üst seviyede olması beklenmektedir. Radar faktöründe etkili olan diğer bir değişken ise “Radar Hedef Takip Menzili” olup, sistem radarının hedefi otomatik takip edebileceği mesafeyi ifade eder. İyi bir radar da bu değişkenin etkisinin yüksek olması beklenmektedir. “Aynı Anda Takip Edilebilen Hedef Sayısı” ise radarın kaç hedefi birden otomatik olarak takip edebildiğini ifade etmekte ve bu takip sayısının fazla olması beklenmektedir [10].

#### 4.2. Hava Savunma Sisteminde Füze/Mermi Grubu Faktörü

Hava savunma sisteminin esas vurucu unsuru olan füze, vuruş hassasiyeti yüksek, karmaşık ve ileri bir teknolojiye sahip olan bir silahtır. Füze sistemlerinde füzenin hızı ve yakıt kapasitesine bağlı uçuş süresi füzenin etkili menzilini belirleyen en önemli etmenlerdir. Vuruş hassasiyetini etkileyen temel unsurlardan biri arayıcı başlık kabiliyetidir. Mermi ise düşük menzillerdeki hedeflere çoklu atım imkânı

sağlayan mühimmatır. Mermi atım hızı ve radara bağlantılı olup olmaması merminin menziline belirleyen temel unsurlardır. Bunun yanında merminin tekrar doldurma süresi, şarjör kapasitesi de vuruş kabiliyetini etkileyen önemli bir konudur.

Füze ve mermi grubu faktörü altında yer alan etkili menzil, irtifa, hedefleri vurma başarısı, sistemin üretim yılı, füze/mühimmatın ömrü ve atıma hazır füze/mermi sayısı sahip olunan hava savunma sisteminin performansında önemli değişkenlerdir. Bu değişkenlerden etkili menzil, hava savunma sisteminde füzelerin hangi mesafede hedeflere karşı etkili bir koruma sağladığını göstermektedir. Bu korumada etkili menzili belirleyen füzenin uçuş süresi, yakıt kabiliyeti, arayıcı başlık kabiliyeti, fırlatma hızı, fırlatma açısı, füze ağırlığı, gövde yapısı, mühimmatın yaşı gibi etmenler önemli yer sahiptir. Bu alt kriterler etkili menzil değerinin oluşmasındaki temel unsurlardır. İyi bir hava savunma sisteminde etkili menzil değişkeninin etkisinin en yüksek düzeyde olması beklenmektedir. İrtifa, hedeflere karşı savunmanın hangi yüksekliğe kadar yapılabileceğini belirlemekte olup, çok yüksek irtifalardan gelen hedefleri önleme kabiliyetini ölçmektedir. İrtifa değişkeninin etkisi ne kadar yüksekse sistem de o kadar iyi çalışacaktır. Hedefleri vurma başarısında ele alınan hava savunma sisteminin ne tür hedeflere karşı başarı sağladığı esas belirleyici unsur olmaktadır ve başarının en büyük olması beklenmektedir. Hedefleri vurma başarısının ölçümünde ne tür hedeflere karşı başarı sağladığı esas belirleyici unsurdur. Bu hedeflerde; uçaklar, helikopterler, dron ve İHA'lar, seyir füzeleri, hava-yer

mühimmatları, roket vb. yer-yer mühimmatları, balistik füzeler yer almaktadır. Bu hedeflerin ağırlıkları uzman görüşleri ile puanlanmaktadır.

Üretim yılı değişkeni sistemin aktif olarak kullanılmaya başladığı yılı ifade etmektedir. Sistemin yeni teknolojileri içerisinde barındırması açısından yaşının küçük olması istenen bir durumdur. Füze/mühimmatın ömrü sistemin ne kadar süre etkisini koruyabildiğini göstermektedir. Bu sürenin mümkün olduğunca uzun bir zaman olması istenen bir durumdur. Atıma hazır füze/mermi sayısı ise lançer ve şarjörün ne kadar mühimmat taşıyabildiğini ifade etmektedir. Bu değişkene ait kapasitenin tekrar doldurma ve yüklemeye gerek kalmayacak miktarda fazla olması beklenmektedir [5].

#### **4.3. Hava Savunma Sisteminde Mali Faktörler**

Mali faktör başlığı altında yer alan sistemin maliyeti ve sistemde görev alacak personel sayısı önemli değişkenlerdir. Maliyet değişkeni, hava savunma sisteminin satın alınmasından kurulumuna kadar olan tüm sürecin mali boyutunu ifade etmektedir ve amaç en yüksek performanslı sistemi en az maliyetle satın almaktır. Diğer bir mali konu ise sistem için gerekli insan gücüdür. Bu insan gücünün eğitimi ve sayısı maliyet üzerinde etkili olacaktır. Bu değişkenin mümkün olduğunca en düşük olması beklenir. Sistemde çalışacak insan sayısının azlığı aynı zamanda sistemde kullanım ve kontrol kolaylığı da sağlayacaktır.

Milli çıkarın getirisi maliyetten daha yüksek ise bu durumda maliyet değişkeni dikkate alınmayabilmektedir [11].

#### 4.4. Hava Savunma Sisteminde Lojistik Faktörler

Lojistik faktörler altında yeniden mevzilenme süresi, diğer sistemler ile entegrasyon/lojistik ve bakım kolaylığı, kullanım kolaylığı, geliştirilebilme yeteneği, teslim süresi ve reaksiyon süresi alt değişkenlerdir. Bunlardan yeniden mevzilenme süresi/yeteneği; sistemin esnekliğini, hareket kabiliyetini ve yer değiştirme hızını ölçmektedir. Hava savunma sisteminde herhangi bir atış yapıldığında sistemin yerinin tespiti daha kolay olacağından dolayı sistemin vurulmaması açısından sistemin yerinin değiştirilmesi çok önemlidir. İyi bir hava savunma sisteminde bu yer değiştirme süresinin mümkün olduğunca en kısa sürede olması beklenmektedir. Diğer sistemlerle entegrasyon/lojistik ve bakım kolaylığında ise sistemin diğer sistemler ile birlikte çalışabilir ve komuta kontrol kabiliyetinin operasyonel sürdürülebilir olması gerekir. Bu sürdürülebilirlik ne kadar yüksek ve az risk barındırıyor ise sistemin performansı da o kadar yüksek olacaktır. Bu kriter, geliştirilebilme yeteneğini de içinde barındırmaktadır. NATO sistemleri ile uyum ve üretici ülke ile ikili ilişkiler üzerinden değerlendirme yapılarak puan verilmiştir. Bu hedeflerin ağırlıkları uzman görüşleri ile puanlanmaktadır.

Lojistik faktörde etkili bir diğer değişken ise sistemin kullanım kolaylığıdır. Bu değişken ekran modüllerinin sade olmasını, az kişi ile kullanılabilirliğini ifade etmektedir. Geliştirilebilme yeteneğinde sistemin yazılım ve teknolojik gelişime imkân tanıyıp tanımadığına bakılmaktadır. İyi bir sistemde bu imkânın en yüksek olması beklenmektedir. Teslim süresi ise sistemin envantere alınabileceği zamanı ifade

eder, ayrıca bu zamanın en kısa zamanda olması hedeflenir. Reaksiyon süresi ise envanterdeki sistemin atışa hazır hale getirilme süresini ifade etmektedir. Bu sürenin en az olması, istenen bir durumdur [2].

#### 5. HAVA SAVUNMA SİSTEMİ TEDARİKİ İÇİN YAPILAN ANALİZLER (ANALYSIS FOR AIR DEFENSE SYSTEM SUPPLY)

Ülke savunmasında çok önemli yere sahip olan hava savunma sistemlerinin tedariki kıt olan kaynakların etkin kullanılması açısından önemlidir. Bu nedenle bu sistemlerden hangi sistemin ve miktarının ne olacağına karar verilirken farklı analizler yapılmaktadır. Bu analizler temel olarak karşılaştırmalı, stratejik planlama, operasyonel, teknolojik ilerleme, ulusal güvenlik ve tehdit, pazar araştırması ve eğitim/personel analizi şeklinde sınıflandırılabilir [12].

*Karşılaştırmalı Analizler:* Bu analiz türünde öncelikle bir hava savunma sisteminin etkinliğini belirleyen radar menzili, füze menzili, satın alınması planlanan ülke ile ikili ilişkiler vb. gibi kriterlerin karşılaştırılması yapılmakta ve bu karşılaştırmada en çok üstünlük sağlayan savunma sistemine karar verilmektedir [6].

*Stratejik Planlama Analizleri:* Bu analiz türünde öncelikle askeri strateji belirlenir ve bu stratejiye hizmet edecek stratejik hedefler belirlenerek hava savunma sistemi buna göre tedarik edilmektedir [13].

*Operasyonel Analizler:* Tehdit gelmesi muhtemel ülkeler ile ikili güç karşılaştırmaları bu analiz türünde temel alınmaktadır. Karmaşık simülasyon modelleri kullanılıp elde edilen sonuçlara göre etkinliği fazla olan hava savunma



sisteminin tedarikine ve miktarına karar verilmektedir [14].

*Teknolojik İlerleme Analizi:* Hava savunma sistemlerinin sahip olduğu teknolojik yeteneklerini geliştirebilme durumlarının göz önüne alındığı analiz türüdür [38].

*Ulusal Güvenlik ve Tehdit Analizi:* Bu analiz türünde tehdit unsuru yüksek olan ülkeler analizin temelini oluşturmaktadır. Ülkenin kendi askeri kapasitesi ile tehdit oluşturan ülkelerin askeri kapasitelerinin kayıp/kazanç durumuna göre sisteme karar verilmektedir [15].

*Pazar Araştırması Analizi:* Bu analiz türünde sistem tamamen ekonomik boyutu ile ele alınıp değerlendirilmektedir [16].

*Eğitim/Personel Analizi:* Bu analiz türünde sistemin çalışması için gerekli kalifiye insan gücü ve bunların eğitimi için gerekli olan temel faktörlere göre sistem değerlendirilmektedir.

## 6. METODOLOJİ (METHODOLOGY)

### 6.1. Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri

Çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri, sayısal olarak ifade edilebilen ya da edilemeyen birden fazla kriterin bir bütün halinde değerlendirilmesine olanak sağlayan analitik yöntemlerdir.

Çok kriterli karar verme süreçleri, literatürde çeşitli yöntemlerle ele alınmaktadır. Çok kriterli karar verme yöntemleri uygulanırken literatürde ağırlıkların bilinmediği durumlarda sıralama üstünlük yöntemlerinden Borda Metodu [17], Condorcet Metodu [18], Basic Lexicographic Methodu [19] gibi yöntemler kullanılmaktadır.

Ağırlıkların belirlendiği durumda ise sıralama veya seçim işlemlerine yönelik olarak TOPSIS

[20], ELECTRE [21], PROMETHE [22], Permütasyon [23], DEMATEL [24], MAUT [25] yöntemlerinin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir.

Hesaplama yapılabilmesi için gerekli kriter ağırlıklarını belirleme yöntemleri de önemli bir rol oynamaktadır. Kriter ağırlıkları belirleme yöntemleri olarak; Basit Kardinal Yöntem [26], AHP Yöntemi [27], Critic Yöntemi [28], Entropi Yöntemi [29] gibi yöntemler en çok kullanılan yöntemlerdir.

Ağırlıkların belirlendiği durumlarda, elde edilen ağırlıkların karşılaştırılması da önemlidir. Elde edilen ağırlıkların karşılaştırılması için ise Kullback-Leiber Uzaklığı ve Ortalama Mutlak Hata Yöntemleri [30] kullanılmaktadır.

### 6.2. Entropi Yöntemi

Çok kriterli karar verme yöntemlerinde kullanılan kriter ağırlıklandırma yöntemlerinden birisi olan Entropi yöntemi Shannon Entropisi olarak da anılmaktadır. Bu yöntem, bilgiyle ilgili olarak kullanıldığında belirsizliğin düzeyini belirlemektedir [31]. Bu haliyle bilginin boyutu ve kalitesi açısından bir ölçüt olarak çok kriterli karar verme yöntemlerinde ağırlıkların objektif hesaplanması için kullanılan bir yöntemdir. Bir kriter için hesaplanan entropi değerinin büyük olması, alternatifler arasındaki farkların küçük olmasından kaynaklanır ve bu kriterin karar için az bilgi sağladığını belirtir. Dolayısıyla entropi ağırlığı değerlerinin düşük olması beklenir [32].

Entropi yönteminin uygulanma adımları aşağıdaki gibi verilebilir [33].

Adım 1: Karar Matrisinin (A) Oluşturulması:

Karar matrisi, satırlarında performansları sıralanmak istenen karar birimleri, sütunlarında ise karar vermede kullanılacak değerlendirme

kriterlerinin yer aldığı bir matristir.  $A$  matrisi karar verici tarafından oluşturulan başlangıç matrisi olup, şu şekilde gösterilebilir:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, m \\ j = 1, 2, \dots, n \end{matrix} \quad (1)$$

Adım 2: Normalize Karar Matrisi (R):

Kriterlerin farklı ölçümleri arasındaki farklılığın giderilebilmesi için yapılan gözlem ve değerlerin normalizasyonu için kullanılan işlem eşitlik (2)'de yer almaktadır.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_i^m a_{ij}} \quad (2)$$

$i$  : Alternatif değeri,

$j$  : Kriter değeri,

$r_{ij}$  : Normalize edilmiş değerler.

Adım 3: Entropi Değerlerinin Hesaplanması:

Normalizasyon işleminden sonra kriterlere ilişkin entropi değerleri eşitlik (3) ile hesaplanmaktadır.

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m r_{ij} \ln(r_{ij}) \quad (3)$$

$$k = (\ln(m))^{-1}$$

$k$  : Entropi katsayısı,

$r_{ij}$  : Normalize edilmiş değerler,

$e_j$  :  $j$ 'nci kriterin entropi değeri.

Adım 4: Ağırlık Değerlerinin Hesaplanması:

Kriterlere ait ağırlık katsayıları aşağıda verilen eşitlik (4) yardımıyla hesaplanır.

$$w_j = \frac{(1 - e_j)}{\sum_i^m (1 - e_j)} \quad (4)$$

$w_j$  : Ağırlık değeri,

$e_j$  : Entropi değeri.

Yukarıda verilen işlemlerle elde edilen her bir kritere ait ağırlık katsayıları toplamı 1'e eşit olacaktır.

### 6.3. TOPSIS Yöntemi

TOPSIS [Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution] yöntemi ilk kez [20] tarafından geliştirilen çok kriterli karar verme yöntemidir. TOPSIS yöntemi seçilen alternatifin pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak olması düşüncesi üzerine kurgulanmaktadır [34]. TOPSIS yöntemi sadece seçilen alternatifin pozitif ve negatif ideal çözüme uzaklıklarını değil, aynı zamanda ideal ve ideal olmayan çözümleri de vermektedir [35]. Çok farklı alanlarda yaygın olarak kullanılmakta olan TOPSIS yöntemi aşağıda verilen işlem adımlarıyla uygulanmaktadır.

Adım 1: Karar Matrisinin (A) Oluşturulması:

Karar matrisinin satırlarında karar noktaları olan alternatifler, sütunlarında ise karar vermede kullanılacak değerlendirme faktörleri (kriterler) yer almaktadır. Başlangıç matrisi olarak da bilinen karar matrisi aşağıda verilen eşitlik (5)'deki gibi gösterilebilir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, m \\ j = 1, 2, \dots, n \end{matrix} \quad (5)$$

$A$  matrisinde " $m$ " karar noktası sayısını, " $n$ " ise değerlendirme faktörü sayısını ifade etmektedir.

Adım 2: Normalize Karar Matrisi (R) :

Normalize edilmiş karar matrisi için vektör normalizasyonu kullanılmaktadır. Normalize edilmiş karar matrisi aşağıda verilen eşitlik (6) ile hesaplanmaktadır.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (6)$$

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, m \\ j = 1, 2, \dots, n \end{matrix} \quad (7)$$

Adım 3: Ağırlıklı Normalize Karar Matrisi (V) :  
Öncelikle değerlendirme faktörlerine ilişkin ağırlık değerleri ( $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ ) belirlenir. Daha sonra ilgili  $w_i$  değeri ile  $R$  matrisinin her bir sütunundaki elemanlar soldan çarpılarak  $V$  matrisi oluşturulur.

$$v_{ij} = w_i * r_{ij} \quad (8)$$

$$V = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Adım 4: Pozitif ( $A^+$ ) ve Negatif ( $A^-$ ) İdeal Çözümlerin Elde Edilmesi:

Bu işlem için  $V$  matrisindeki ağırlıklandırılmış değerlendirme faktörlerinin yani sütun değerlerinin en büyükleri (ilgili değerlendirme faktörü minimizasyon yönlü ise en küçüğü) seçilir. Pozitif ideal çözüm kümesinin bulunması için aşağıdaki eşitlik (10) kullanılır.

$$A^+ = \left\{ \left( \begin{matrix} maks & v_{ij} \\ i & | j \in J \end{matrix} \right), \left( \begin{matrix} min & v_{ij} \\ i & | j \in J'' \end{matrix} \right) \right\} \quad (10)$$

eşitliğinden hesaplanacak küme;

$$A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\} \text{ şeklinde gösterilir.}$$

Negatif ideal çözüm kümesi ise,  $V$  matrisindeki ağırlıklandırılmış değerlendirme faktörlerinin yani sütun değerlerinin en küçükleri (ilgili değerlendirme faktörü maksimizasyon yönlü ise en büyüğü) seçilerek oluşturulur. Negatif ideal çözüm kümesinin bulunması aşağıda verilen eşitlik (11) ile gerçekleştirilir.

$$A^- = \left\{ \left( \begin{matrix} min & v_{ij} \\ i & | j \in J \end{matrix} \right), \left( \begin{matrix} maks & v_{ij} \\ i & | j \in J'' \end{matrix} \right) \right\} \quad (11)$$

eşitliğinden hesaplanacak küme;

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} \text{ şeklinde gösterilir.}$$

Burada her iki eşitlikte de kullanılan  $J$ , fayda kriterini ve  $J''$  ise maliyet kriterini göstermektedir.

Adım 5: Alternatiflerin Pozitif ve Negatif İdeal Çözümünden Uzaklıklarının Hesaplanması:

TOPSIS yönteminde her bir karar noktasına ilişkin faktör değerinin pozitif ideal ve negatif ideal çözüm kümesinden sapmalarının bulunabilmesi için Euclidian Uzaklık Yaklaşımından yararlanılmaktadır. Buradan elde edilen karar noktaları için sapma değerleri ise pozitif ideal çözüme uzaklık ( $S_i^+$ ) ve negatif ideal çözüme uzaklık ( $S_i^-$ ) olarak adlandırılmaktadır. Bu uzaklıkların hesaplanmasında aşağıda verilen eşitlikler kullanılır.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (12)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (13)$$

Adım 6: İdeal Çözüme Göreceli Yakınlık Değerlerinin Hesaplanması:

Her bir karar noktasının ideal çözüme göreceli yakınlığının ( $C_i^*$ ) hesaplanmasında pozitif ideal ve negatif ideal çözümden uzaklık değerlerinden yararlanılır. Bu ( $C_i^*$ ) değerinin hesaplanmasında, aşağıda verilen eşitlik (14) kullanılır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad (14)$$

Burada  $C_i^*$  değeri,  $0 \leq C_i^* \leq 1$  aralığında değer alır ve  $C_i^* = 1$  değerini alması ilgili karar

noktasının pozitif ideal çözüme yani ideal çözüme,  $C_i^* = 0$  olması ise ilgili karar noktasının negatif ideal çözüme yani ideal olmayan çözüme yaklaştığını gösterir.

## 7. UYGULAMA (APPLICATION)

### 7.1. TOPSIS Modeli ile Hava Savunma Sistemi Performansının Hesaplanması (Calculation of Air Defense System Performance with TOPSIS Model)

Dünya hava savunma sistemleri piyasasında yer alan çok sayıda sistem vardır. Bu sistemler temelde benzer işlevleri yerine getirirler de her biri farklı özelliklere sahiptir. Bir ülke bir hava savunma sistemi satın alırken hem askeri ihtiyaçları hem de zaman-maliyet analizleri yaparak kendi coğrafi, ekonomik, tehdit durumlarına en iyi cevabı veren sistemi satın alma yoluna gitmektedir. Bu çalışmada dünya genelinde en çok kullanılan ve farklı özelliklere sahip hava savunma sistemlerinin temel özellikleri dikkate alınarak evrensel bir

performans sıralaması matematiksel bir model çerçevesinde yapılmıştır. Matematiksel olarak sayısal verileri temin edilen sistemler modele dahil edilmiştir. Yine benzer şekilde sistemin performansını belirleyen kriterler için de aynı yol izlenmiş, sayısal verilerine ulaşılabilen kriterler modele dahil edilmiştir.

### 7.2. Modelin Alternatifleri

Dünya genelinde kullanılan pek çok hava savunma sistemi bulunmaktadır. Fakat bu sistemlerden bazılarının verileri olmadığı veya verilerine ulaşılamadığından bu çalışma kapsamı içerisinde toplam 34 hava savunma sistemi ele alınmıştır. Bu hava savunma sistemleri bu modelin alternatiflerini oluşturmaktadır. Çalışma kapsamı içinde kullanılan savunma sistemlerinin isimleri, hangi ülke tarafından ne zaman üretildiğine ait bilgiler üretim yılı sırasına göre Tablo 2’de verilmiştir [8].

**Tablo 2:** Alternatif hava savunma sistemleri.

Sıra	Sistem Adı	Üretici Ülke/Üretim Yılı	Sıra	Sistem Adı	Üretici Ülke/Üretim Yılı
1	E-70	İsviçre-1934	18	Pantsir-S1	Rusya-2008
2	NIKE	ABD-1954	19	ADATS	Kanada/Tayland-2008
3	S-200	Rusya-1960	20	Crotale NG	Fransa-2008
4	Oerlikon	İsviçre-1960	21	EUROSAM ASTER 30	Fransa/ İtalya-2008
5	S-125 Neva/Pechora	Rusya-1961	22	THAAD	ABD-2010
6	S-300	Rusya-1980	23	Buk-M2E	Rusya-2010
7	Stinger	ABD-1987	24	SAMP/T	Fransa/ İtalya-2010
8	Roland	Fransa/Almanya-1988	25	HQ-16	Çin-2011
9	I-HAWK	ABD-1989	26	Iron Dome	İsrail-2011
10	Rapier	İngiltere-1999	27	Spyder-MR	İsrail-2014
11	Arrow 2	İsrail/ABD-2000	28	Arrow 3	İsrail/ABD-2017
12	HQ-9 (FD-2000)	Çin-2001	29	David's Sling	İsrail-2017
13	Patriot PAC-3	ABD-2002	30	Barak-8	İsrail-2017
14	ESSM	ABD-2004	31	NASAMS	ABD/ Norveç-2019
15	Spyder-SR	İsrail-2005	31	Iron Beam	İsrail-2023
16	CHU SAM	Japonya-2005	33	Siper	Türkiye-2023
17	S-400 Triumf	Rusya-2007	34	Hisar	Türkiye-2023

### 7.3. Modelin Kriterleri

Bir hava savunma sisteminin performansının artmasında etkili olan faktörler Tablo 1’de radar, füze/mermi grubu, mali ve lojistik başlıkları altında verilmiştir. Bu faktörlerin altında yer alan değişkenler kurulacak olan modelin kriterlerini oluşturmaktadır.

Radar faktörü altında yer alan radar hedef takip menzili ve aynı anda takip edilebilir hedef sayısı çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. Hedef takip mesafesinin dikkate alınmamasının nedeni aynı tür hava savunma sistemlerinde farklı radarların kullanılmasıyla elde edilecek verilerin yani o radara özgü hedef takip mesafesinin değişkenlik göstermesidir. Aynı anda takip edilebilir hedef sayısının dikkate alınmaması nedeni ise aynı anda angaje edilebilir hedef sayısı kriterinin yanında bu kriterin önemini yitirmesidir. Çünkü nihai hedef takip etmek değil, angaje olarak hedefi imha edebilmektir.

Füze/mermi grubu faktörü altında yer alan füze/mühimmatın ömrü tüm sistemlerde en az 20 yıl ile sınırlandırıldığı için çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. Atıma hazır füze/mermi sayısının dikkate alınmamasının nedeni ise, her sistemde füzeleri taşıyan ve ateşleyen lançer sayısı ve dolayısıyla atıma hazır füze/mermi sayısının isteğe bağlı olarak değiştirilebilmesidir. Üretim yılı kriteri ise teknolojik ve yazılımsal gelişmişlik kriteri içerisinde dikkate alınmıştır.

Lojistik faktörler altında yer alan teslim süresi, reaksiyon süresi çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. Kullanım kolaylığı ve geliştirilebilme yeteneği kriterleri ise dolaylı olarak model içerisinde kullanılmıştır. Teslim süresi değişkeni üretim bandı hızı, bekleyen müşteri ve talep sayısı, üretimin durması vb. birçok etkene bağlı olduğundan bahse konu verilere ulaşmak ve problemimizde teslim edilmiş, kullanıma verilmiş sistemlerin karşılaştırılması nedenlerinden dolayı bu değişken dikkate alınmamıştır. Reaksiyon süresi harp ve barış durumunda farklılık göstereceği için standart bir süre söz konusu değildir. Bu nedenle çalışma dışında bırakılmıştır. Kullanım kolaylığı; insan gücü sayısı değişkeni ile yakından ilişkilidir. Sistemlerin az sayıda insan ile kullanılması kullanım kolaylığı sağlamaktadır. İnsan gücü sayısı modele dahil edildiği için bu değişken göz ardı edilmiştir. Geliştirilebilme yeteneği değişkeni ise diğer sistemlerle entegrasyon/lojistik ve bakım kolaylığı değişkeni içinde yer aldığı için ayrı bir değişken olarak modele dahil edilmemiştir. Bu husus genellikle açık kodlu yazılıma sahip olması, yerli sistem olması durumunda geliştirilebilmesini sağlamaktadır. Böylece lojistik ve bakım kolaylığı da sağlanabilmektedir.

Tüm açıklamalar ışığında model kapsamında kullanılacak olan değişkenler yani modelin kriterleri ve kodları Tablo 3’te verilmiştir.

**Tablo 3:** Model kapsamında kullanılan kriterler.

Radar Faktörü	Füze veya Mermi Grubu Faktörü	Mali Faktör	Lojistik Faktör
K1 : Radar Menzili	K4 : Etkili Menzil	K7 : Maliyet	K9 : Yeniden Mevzilenme Süresi
K2 : Aynı Anda Angaje Edilebilir Hedef Sayısı	K5 : İrtifa	K8 : Bir Sistem İçin Gerekli İnsangücü	K10 : Diğer Sistemlerle Entegrasyon/ Lojistik ve Bakım Kolaylığı
K3 : Teknolojik ve Yazılım Gelişmişliği/ Elektronik Harp Dayanıklılığı	K6 : Hedefleri Vurma Başarısı		

#### 7.4. Kriterlerin Sayısal Değerleri

Tablo 3'te verilen K1, K2, K3, K4, K5, K7, K8 ve K9 kriterlerinin sayısal verilerine farklı kaynaklar kullanılarak erişilmiştir. Bunun için her bir hava savunma sisteminin web sayfaları, üretici firmanın resmi siteleri ve ikili satın alma görüşmeleri kapsamında açık olan internet kaynakları taranmıştır.

Hava savunma sistemi hakkında temel bilgiler için [8] kitap kaynağından yararlanılmıştır.

Sayısal olarak ölçülemeyen K6 ve K10 kriterleri için 4 uzman kişinin görüşüne başvurulmuş ve bu kişilerden ilgili kriterlere önem derecesine göre sayısal değerler atamaları istenmiştir. Bu alandaki kullanıcı konumunda olan uzmanlar genel olarak bir veya birkaç sistem hakkında bilgi sahibi olduğundan, dünyadaki hava savunma alanındaki gelişmeleri takip eden ve karar verici konumunda olan çok az sayıda uzman bulunduğundan 4 kişi ile sınırlanmıştır.

K6 kriteri uçaklar, helikopterler, Dron/İHA'lar, seyir füzeleri, hava-yer mühimmatları, roket vb. yer-yer mühimmatları ve balistik füzeler şeklinde alt kriterlere ayrıştırılmıştır. Uzmanlardan her bir sistemin sahip olduğu özellikleri dikkate alarak

bu alt kriterlere toplamı 10 olacak şekilde puan atamaları istenmiştir.

K10 kriterinde ise iki alt kriter tanımlanmıştır. Bunlardan ilki sistemin NATO sistemleri ile uyumu, diğeri ise üretici ülke ile olan ilişkilidir. Uzman kişilerden istenilen toplamı 10 olacak şekilde bu iki kritere 5 üzerinde puan vermeleri istenmiştir. Alanında uzman kişilerden alınan bu puanların aritmetik ortalaması alınarak kullanılmıştır. Model çerçevesinde kullanılan tüm hava savunma sistemleri kullanılan kriterlere ilişkin derlenen sayısal veriler Ek-1'de verilmiştir.

#### 7.5. Entropi Yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması

Kriter ağırlıkları iki türlü hesaplanmıştır. Milli çıkarlar açısından savunma daha öncelikli ise maliyet göz ardı edilebilmekte ve maliyet kriteri önemini yitirmektedir. Bu nedenle kriter ağırlıkları maliyetin dahil olduğu ve maliyetin dahil olmadığı duruma göre ENTROPİ yöntemi ile hesaplanmıştır.

##### 7.5.1. Maliyetin Dikkate Alındığı Ağırlıklar

Tüm kriterlerin dikkate alınarak ENTROPİ yöntemi ile ağırlıklandırıldığı kriter ağırlıkları Tablo 4'te gösterilmiştir.

**Tablo 4:** Maliyet dahil kriter ağırlıkları.

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
Ağırlık	0,111	0,130	0,007	0,175	0,076	0,004	0,144	0,092	0,243	0,016

Tablodan da izleneceği gibi dokuzuncu kriter olan yeniden mevzilenme süresi/yeteneği (0,243) ağırlık değeri ile ilk sırada yer alırken bunu dördüncü kriter olan “etkili menzil” (0,175) ağırlık değeri izlemektedir. Performans üzerinde en az etkiye (0,004) ağırlık değeriyle altıncı kriter olan “hedefleri vurma başarısı”dır. Bunu (0,007) ağırlık değeriyle üçüncü kriter olan “teknolojik

ve yazılım gelişmişliği/ elektronik harp dayanıklılığı” kriteri izlemektedir.

### 7.5.2. Maliyetin Dikkate Alınmadığı Ağırlıklar

Çok özel durumlarda maliyet göz ardı edilebilmektedir. Maliyetler göz ardı edilerek kriterlerin performans üzerindeki etkisi yeniden hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 5’te verilmiştir.

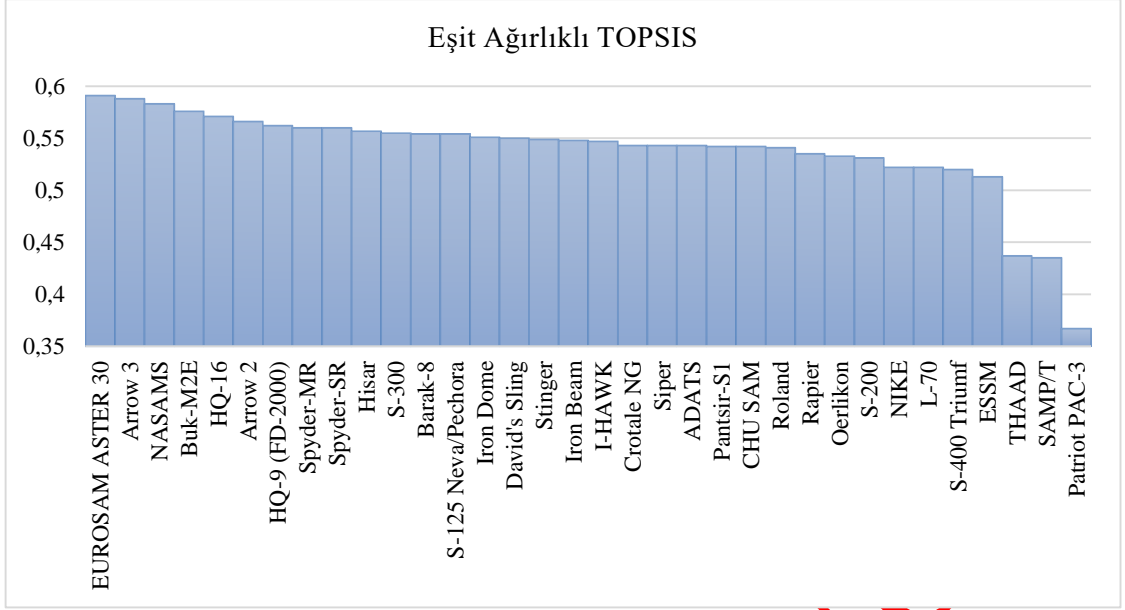
**Tablo 5:** Maliyetin dahil olmadığı kriter ağırlıkları.

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
Ağırlık	0,129	0,152	0,009	0,205	0,089	0,005	-	0,108	0,284	0,019

Maliyet elimine edilip ağırlıklar tekrar hesaplandığında dokuzuncu kriter olan “yeniden mevzilenme süresi” (0,284) ağırlık değeri ile ilk sırada, dördüncü kriter olan “etkili menzil” (0,205) ağırlık değeri ile ikinci sırada yer almış ve en etkili ilk iki kriter olarak belirlenmiştir. Performans üzerinde en az etkiye sahip ilk iki kriter ise (0,005) ağırlık değeri ile “hedefleri vurma başarısı” ve (0,009) ağırlık değeri ile “teknolojik ve yazılım gelişmişliği/ elektronik harp dayanıklılığı” kriterleridir.

### 7.5.3. TOPSIS Yöntemi ile Alternatiflerin Sıralanması

Çalışma kapsamında ele alınan alternatif hava savunma sistemleri üç şekilde sıralamaya tabi tutulmuştur. Bunlardan ilki her bir kriterin eşit ağırlıklı olduğu durumdur. Kriterlerin ağırlıklandırıldığı durumda ise maliyet kriterinin elimine edildiği ve maliyet kriterinin dahil edildiği ağırlık değerlerine göre de iki farklı sıralama yapılmıştır. Tüm kriterlerin ağırlıklarının eşit varsayıldığı durumda hava savunma sistemlerinin performans sıralama sonuçları Şekil 1’de verilmiştir.

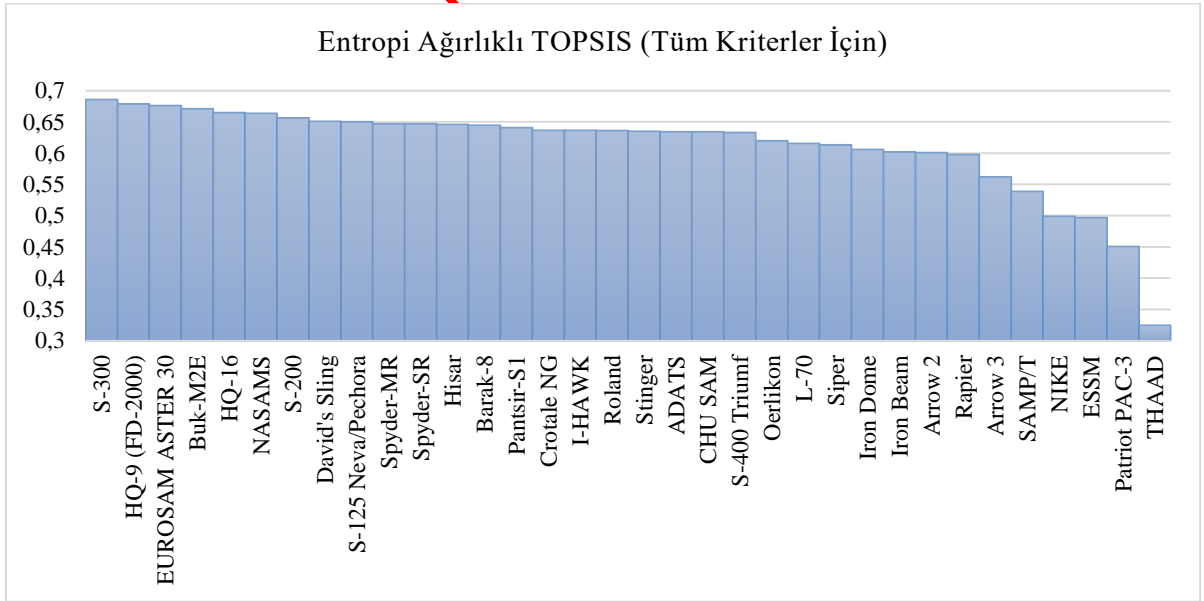


**Şekil 1:** Eşit ağırlıklı TOPSIS performans sıralama sonuçları.

Tüm kriterlerin eşit ağırlıklı olduğu varsayımı altında yapılan sıralamaya bakıldığında 0,591 puanla EUROSAM ASTER 30 performansı en fazla olan sistem çıkmıştır. Bunu sırasıyla Arrow 3, NASAMS, Buk-M2E, HQ-16 izlemektedir. Son sıralarda ise sırasıyla S-400, ESSM,

THAAD, SAMP/T, Patriot PAC-3 sistemleri yer almaktadır.

Tüm kriterlerin Entropi ağırlıkları kullanılarak yapılan hava savunma sistemlerinin performans sıralaması Şekil 2’de verilmiştir.



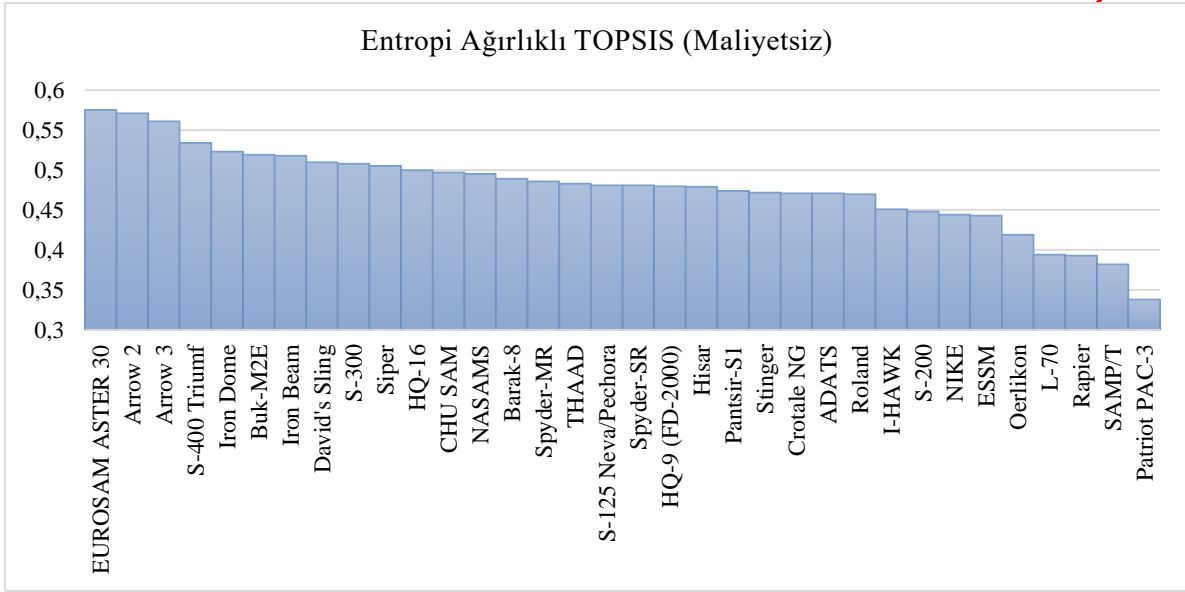
**Şekil 2:** Tüm kriterlerin ağırlıklandırıldığı performans sıralaması.



Tüm kriterlerin ağırlıklandırıldığı sıralamaya göre 0,686 puanla S-300 performansı en fazla olan sistem çıkmıştır. Bunu sırasıyla HQ-9 (FD-2000), EUROSAM ASTER 30, Buk-M2E ve HQ-16 sistemleri izlemektedir. Son sıralarda ise

sırasıyla SAMP/T, NIKE, ESSM, Patriot PAC-3 ve THAAD sistemleri yer almaktadır.

Maliyet kriterinin elimine edilerek diğer kriterlerin Entropi ile ağırlıklandırıldığı hava savunma sistemlerinin performans sıralaması Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3: Maliyet kriterinin olmadığı ağırlıklı performans sıralaması.

Tablo 3'te görüldüğü gibi 0,575 puanla EUROSAM ASTER 30 performansı en fazla olan sistem çıkmıştır. Bunu sırasıyla Arrow 2, Arrow 3, S-400 Triumf ve Iron Dome izlemektedir. Son sıralarda ise sırasıyla Oerlikon, L-70, Rapier, SAMP/T ve Patriot PAC-3 yer almaktadır.

## 8. SONUÇ VE ÖNERİLER (RESULTS AND DISCUSSION)

Hava savunma sistemleri, ulusal güvenliğin en önemli unsurlarından biridir. Güçlü bir ulusal savunma için bu alandaki tüm gelişmelerin yakından takip edilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada savunma piyasasında, ülkelerin kullanımına sunulan hava savunma sistemlerinin performans değerlendirilmesi matematiksel olarak yapılmış ve bu amaçla

ÇKKV yöntemlerinden biri olan TOPSIS kullanılmıştır. Matematiksel model kurgusunda sayısal verilerine ulaşılabilen 34 hava savunma sistemi modelin alternatifleri olarak alınmış ve performans değerlendirmesi için radar, füze-mermi ile mali ve lojistik faktörler başlığı altında sayısallaştırılabilen on adet kriter kullanılarak model üç farklı şekilde çözülmüştür. İlk çözümde kriterlere herhangi bir ağırlık verilmemiş tüm kriterlerin eşit ağırlıklı olduğu varsayılarak performans değerlendirilmesi yapılmıştır. İkinci çözümde tüm kriterler ENTROPİ yöntemi ile ağırlıklandırılarak sistemlerin performansına bakılmıştır. Ülke savunmasında savunmanın getireceği avantaj maliyet unsurundan daha fazla ise maliyet ne olursa olsun göz ardı

edilebilmektedir. Bu nedenle son değerlendirmede maliyet unsuru devre dışı bırakılıp yeniden ağırlıklandırma yapılarak performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Eşit ağırlıklı performans değerlendirmesine bakıldığında EUROSAM ASTER 30, Arrow3, NASAMS, Buk-M2E, HQ-16, Arrow2, HQ-9, Spyder MR, Spyder SR ve Hisar hava savunma sistemleri ilk on sırada yer almıştır. Bu sistemlerden dört tanesi İsrail, iki tanesi Çin, bir tanesi ABD-Norveç, bir tanesi Rusya, bir tanesi Fransa-İtalya ve bir tanesi de Türkiye menşelidir. Eşit ağırlıklı sıralamada İsrail menşeli savunma sistemlerinin öne çıktığı görülmektedir.

Kriter ağırlıklandırması ile yapılan sıralamada ise S-300, HQ-9, EUROSAM ASTER30, Buk-M2E, HQ16, NASAMS, S-200, David's Sling, S-125 Neva-Pechora ve Spyder MR sistemleri performansı en yüksek ilk on sistemdir. Bu sistemlerden dört tanesi Rusya, iki tanesi Çin, bir tanesi ABD, iki tanesi İsrail ve bir tanesi ise Fransa-İtalya menşeli sistemlerdir. Rusya menşeli sistemlerin ağırlıklı sıralamada öne çıktığı görülmektedir.

Eşit ağırlıklı ve ağırlıklandırılmış sonuçlar beraber incelendiğinde altı hava savunma sistemi her iki sıralamada da ilk on sistem içerisinde yer almaktadır. Bunlar; EUROSAM ASTER 30, NASAMS, HQ-9, HQ-16, BUK-M2E, Spyder MR hava savunma sistemleridir. Bu sistemlerin iki tanesi Çin, bir tanesi İsrail, bir tanesi Rusya, bir tanesi ABD ve bir tanesi de Fransa-İtalya menşelidir. Bu değerlendirmede İsrail ve Rus menşeli sistemlerin ilk on sıra içinde öne çıktığı görülmektedir.

Maliyet kriteri göz ardı edilerek yapılan ağırlıklı sıralamada ise ilk on sırada EUROSAM ASTER 30, Arrow2, Arrow3, S-400 Triumf, İron Dome, Buk-M2E, İron Beam, David's Sling, S-300 ve Siper hava savunma sistemleri yer almıştır. Bu sistemlerin beş tanesi İsrail, üç tanesi Rusya, bir tanesi Türkiye ve bir tanesi de Fransa-İtalya menşelidir. Maliyet kriteri göz ardı edildiğinde İsrail sistemlerinin ağırlıklı olarak ön sıralarda yer aldığı görülmektedir.

Eşit ağırlıklı, ağırlıklandırılmış, maliyet dışı sıralamalar beraber incelendiğinde ilk on sırada ortak yer alan sistemler; Fransız-İtalyan yapımı EUROSAM ASTER 30 ve Rusya yapımı BUK-M2E hava savunma sistemidir.

Genel olarak namlulu olan Oerlikon, L-70 ve tarihsel olarak önce üretilen NİKE, ESSM, Raptor gibi sistemler her üç sıralamada da son sıralarda yer almışlardır.

İlk on sıralamada yer alan Türkiye menşeli Siper ve Hisar hava savunma sistemleri ASELSAN tarafından üretilmiş olup 2024 itibari ile kullanıma sunulmuştur. Türkiye menşeli yeni olan bu sistemlerin hava savunma alanında öncü olan İsrail, Rusya, ABD, Çin gibi ülkelerin ürettiği sistemler arasında iyi bir performans sergilediği görülmektedir. Bu sistemlerin harekât alanında etkinliği kanıtlandığında ve seri üretim ile maliyeti azaldığında performansının daha da artması yanında Türkiye'nin hava savunma alanında dışa bağımlılığını azaltması da muhtemeldir.

Bu çalışma kapsamında sayısal verilerine ulaşılabilen tüm hava savunma sistemleri için çok sayıdaki kriterle değerlendirilmiştir. Gelecek çalışmalarda yeni hava savunma sistemlerinin

eklenmesi, değişen teknolojik gelişmelere ilişkin hedefleri vurma başarısı ve diğer sistemlerle entegrasyon/lojistik ve bakım kolaylığı kriterlerine ait uzman görüşleri daha geniş skalada detaylandırılabilir. Bunun yanında modelde yer alan sistemler kendi arasında silah sistemleri, namlulu sistemler, alçak irtifa füze sistemleri, uzun menzilli füze sistemleri, çok maksatlı hava savunma sistemleri gibi gruplara ayrıştırılarak her grup kendi içinde değerlendirilebilir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu araştırma hiçbir dış finansman almamıştır.

#### YAZAR KATKILARI (AUTHORSHIP CONTRIBUTION STATEMENT)

**Ayşe EDİZ:** Kavramsal tasarım, Yazma.

**Şenol ALTAN:** Kavramsal tasarım, Yazma, Analiz, Gözden geçirme ve Düzenleme.

**Salih TAŞDEMİR:** Kavramsal tasarım, Yazma, Görselleştirme, Gözden geçirme ve Düzenleme.

#### ÇIKAR ÇATIŞMALARI (CONFLICTS OF INTEREST)

Yazarlar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Douhet, G., "The Command of the Air, Washington, D.C.": Office of Air Force History, 1983.
- [2] Kabak, M., "Türk Silahlı Kuvvetlerinde Hava Savunma Silahlarının Etkinliğinin Belirlenmesi ve Hava Savunma Bataryasının Yeniden Yapılandırılması", Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2001.
- [3] Aydın, Y., Eren, T., "Hava Savunma Sanayii Alt Yüklenici Seçiminde Bulanık Mantık Altında Çok Kriterli Karar Verme ve Hedef Programlama Yöntemlerinin Kullanılması", Journal of Aviation, 2(1), 10-30., 2018.

[4] Duman, İ., "Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleriyle Hava Savunma Sistemi Seçimi", Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, 2019.

[5] Özcan, S., Türker, A.K., Ersöz, S., İfraz, M., Tebrizcik, S. "Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri Kullanılarak Türkiye Cumhuriyeti İçin Bir Hava Savunma Sistemi Seçimi", 2. Uluslararası Malzeme Mühendisliği ve İleri İmalat Teknolojileri Kongresi (IMEAMTC'23), 2023.

[6] Taşdemir, S., "Nokta Hava Savunma Sistemlerinin Konuş Yeri Seçimi İçin Çok Kriterli Yaklaşımlar", Fen Bilimleri Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2021.

[7] S. Taşdemir and S. Atan, "Non-linear programming model proposal for mutual support distance of air defence systems", J. Decis. Anal. Int. Comp., vol. 4, no. 1, pp. 165–175, Oct. 2024.

[8] Tür, E., "Yerden Havaya Hava Savunma Tarihcemiz", 2022.

[9] US Air Force, "Air Force Doctrine" Air Force Doctrine Publication 3-01, Counterair Operations, 2023.

[10] Özyılmaz Çopur, D., "A Multicriteria Approach For Configuration And Positioning of Air Defense Systems", Fen Bilimleri Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2022.

[11] Uçakçioęlu, B. Eren, T., "Hava Savunma Sanayisinde Yatırım Projeleri Seçiminin Çok Ölçütlü Karar Verme ve Hedef Programlama İle Seçimi", 1(2), 39-63. 2017.

[12] Egele, S., "Füze Tehdidi ve NATO Füze Kalkanı: Türkiye Açısından Bir Değerlendirme", Uluslararası İlişkiler, Cilt: 10, Sayı: 40, 39-73, 2014.

[13] Petrov, Z., "Key Aspects And Analysis Of European Defense Planning Processes", IJASOS-International E-Journal of Advances in Social Sciences, Vol. V, Issue 15, 1238-1250, 2019.

[14] Çanlı, H. ve Kandakoęlu, A. "Hava Gücü Mukayesesi İçin Bulanık AHP Modeli", Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, Cilt: 3, Sayı: 1, 71-82., 2007.

[15] USA White House, "National Security Strategy of the United States of America" 2017.

[16] Baran, T., "Türkiye'de Savunma Sanayi Sektörünün İncelenmesi ve Savunma Sanayi

- Sektörü Harcamalarının Ekonomi Üzerindeki Etkilerinin Değerlendirilmesi", Uluslararası İktisadi ve İdari Birimler Dergisi. 4 (2), 58-81., 2018.
- [17] Arrow, K. J., ve Raynaud, H. "Social choice and multicriterion decision-making", MIT Press, 1986.
- [18] Young, H. P., "Condorcet S Theory of Voting". American Political Science Review, vol.82, no. 4, pp. 1231–1244, 1988.
- [19] Keeney, R. L., ve Raiffa, H., "Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs", John Wiley & Sons, New York sf. 77-78, Cambridge University Press. Wiley, 1976.
- [20] Hwang, C. L., & Yoon, K., "Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications: A State-of-the-Art Survey, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems". New York: Springer-Verlag, 129, 1981.
- [21] Roy, B., "The Outranking Approach and the Foundations of Electre Methods, Theory and Decision", (31), ss. 49-73, 1991
- [22] Brans, Jean-Pierre, "L'ingenierie de la decision: Elaboration d'instruments d'aide a la decision. La Methode PROMETHEE", Universite Laval, Colloque d'aide a la Decision, Quebec, Canada, ss.183-213, 1982.
- [23] Reeves, C.R. ve Yamada, T., "Genetic Algorithms, Path Relinking and the Flowshop Sequencing Problem", Evolutionary Computation Journal, MIT, 6(1), 230–234, 1988.
- [24] Huang, C.Y., Shyu, J.Z., Tzeng, G.H., "Reconfiguring the innovation policy portfolios for Taiwan's SIP Mall industry", Technovation, 27, 744–765, 2007.
- [25] Wang, S.O., Wee, Y.P. & Ofori, G., DSSDSS. "A Decision Support System for Dewatering Systems Selection, Buifding and Environment", 37, 625-645, 2002.
- [26] Ahn, B. S. ve Park, K. S., "Comparing methods for multiattribute decision making with ordinal weights", Computers and Operations Research, 35(5), 1660-1670, 2008.
- [27] Saaty, T. L., "The Analytic Hierarchy Process". New York: McGraw-Hill, 1980.
- [28] Diakoulaki, D., "Determining objective weights in multiple criteria problems: The CRITIC method", Computers & Operations Research, 22 (7), 763-770., 1995.
- [29] Chen, Y. Ve Deng, H., "Entropy-based methods for multi-criteria decision making. In Multiple Criteria Decision Making in the New Millennium", 31-52., 2013.
- [30] Şakar, C. T., "Çok Kriterli Karar Verme Problemlerinde Fayda Fonksiyonu Ağırlıklarının Tahmin Edilmesi için Matematiksel Model Temelli Bir Yöntem", Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 23, Sayı 1, 2018.
- [31] Han, B., Liu, H., and Wang, R., "Urban Ecological Security Assessment for Cities in the Beijing – Tianjin – Hebei Metropolitan Region Based on Fuzzy and Entropy Methods", Ecological Modelling, 318, 217 – 225, 2015.
- [32] Wang, T. C. ve Lee, H.D., "Developing A Fuzzy TOPSIS Approach Based on Subjective Weights and Objective Weights", Expert Systems with Applications, 36(5), 8980 – 8985., 2009.
- [33] Li, X., Wang, K., Liu, L., Xin, J., Yang, H. & Gao, C., "Application of the entropy weight and TOPSIS method in safety evaluation of coal mines, Procedia Engineering", 26, 2085-2091, 2011.
- [34] Chen, C.T., "Extensions of the TOPSIS for Group Decision Making Under Fuzzy Environment", Fuzzy Sets and Systems, Volume: 114, Issue: 1, 1-9., 2000.
- [35] Wang, J.W., Cheng, C.H., Cheng, H.K. "Fuzzy Hierarchical TOPSIS for Supplier Selection", Applied Soft Computing, 9, 377 – 386, 2009.
- [36] Friedman, N., "The Gulf War and the New World Order". International Security, 17 (3), 5-43, 1993.
- [37] Kılıç, H., "Balistik Füzeler 1 Dünyada Roketçiliğin Tarihsel Gelişimi ve Füze Sistemlerinin Teknik İncelenmesi", Papirüs Yayınları. 2022.
- [38] J.Pike, "World Wide Missile Resources" <https://www.globalsecurity.org/>, 2023.