

Bulanık Mantık Kullanarak Hava Savunma Karar Destek Sistemi Tasarımı

Air Defence Decision Support System Design Using Fuzzy Logic

Fuat Beser¹, Doğan Adıgüzel², Ömür Yıldırım³, Tülay Yıldırım⁴

Elektronik Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

fuatbeser@gmail.com¹, dogan.1846@gmail.com², mail.omuryildirim@gmail.com³, tulay@yildiz.edu.tr⁴

Özetçe— Hava araçlarının kara ya da deniz araçlarına göre daha hızlı hareket etmesinden dolayı, savaş gemilerinin havadan gelecek tehditleri kısıtlı sürede doğru algılaması ve uygun reaksiyonu göstermesi gerekmektedir. Hava hedeflerinin doğru şekilde kimliklendirilebilmesi için radar, elektronik destek sistemleri, göz gibi çeşitli sensörlerden gelen bilgiler kullanılmaktadır. Hedef tipinin ve tehdit seviyesinin belirlenmesi, gösterilecek reaksiyonun belirlenmesi açısından büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, hava hedeflerine ait hız, irtifa, mesafe ve tırmanma oranı değerleri ile uzman görüşü alınarak oluşturulan bulanık mantık kuralları kullanılarak tehdit seviyesi belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler— bulanık mantık, hava savunma, karar destek sistemi.

Abstract— Since air vehicles move faster than land or sea vehicles, warships must be able to perceive their threats from the air in a limited amount of time and react appropriately. Information from various sensors such as radar, electronic support systems, eyes are used to identify air targets correctly. The determination of the target type and threat level is of great importance in terms of determining the reaction to be shown. In this study, the threat level was determined by using the velocity, altitude, distance and climb rate values of the air targets and the fuzzy logic rules which are obtained by the expert opinion.

Keywords— fuzzy logic, air defence, decision support system.

I. GİRİŞ

Genel anlamda hava savunma sistemlerini incelediğimizde, hava savunma sistemleri savunma teknolojisi için çok büyük önem arz etmektedir. Hatta yapılan eski bir çalışmada zamanı geldiğinde hava savunma sistemlerinin küçük şehirleri koruyacağı bile ifade edilmiştir. [1]

Savaş gemilerinin kendisine yönelen şüpheli hava

araçlarını tespit etmesi ve platform tipine kadar tanımlaması kendi bekasının sağlanması için gerçekleştireceği hava savunma açısından çok önemlidir. Bir hava temasıyla ilgili dost unsurlardan alınan çeşitli bilgilerin işlenmesi sonucu, en az hata ile karar verilebilir. Fakat diğer unsurlardan çeşitli nedenlerden dolayı (hasar, arıza vb.) bilgi alınamadığı ya da alınan bilginin güvenilirlik seviyesinin düşük olduğu durumlarda sadece hava temasıyla ilgili bilgilere (rota, sürat, irtifa, tırmanma oranı vb.) dayanılarak karar verilmesi gerekebilir. Hedeften elde edilen bilgiler kullanılarak yapılan davranış analizi neticesinde; tehdit seviyesi belirlenebilir, tehdit seviyesine göre önceliklendirme yapılabilir ve buna bağlı olarak hedefe ve/veya hedeften atılacak güdümlü mermilere karşı savunma yapılması sağlanabilir.

Güdümlü mermiler ile uçakların aynı anda değerlendirilmesi karışıklığa sebep olabileceğinden [2] ve güdümlü mermi tespit edildikten sonra uçuş profili genellikle belli olduğundan, hareketleri daha dinamik olabilen uçaklara istinaden sistem tasarlanmıştır.

Bilinmeyen hedeflerin teşhis edilebilmesi için dört katmanlı bir yapı ortaya koyan Smitt ve Bruggeman'ın [3] modeline göre;

- 1'inci katmanda, sensör verilerin gözlemlenerek özellik çıkarımı yapılmaktadır. Örneğin yer değiştirme miktarı gözlemlenerek hedefin hızı tespit edilmektedir.
- 2'nci katmanda, hedeflere ait bilinen özellikler ile tespit edilen özellikler karşılaştırılarak benzerlik ölçümü yapılmaktadır.
- 3'üncü katmanda, 2'nci katmanda tespit edilen benzerlikler ağırlıklandırılarak birleştirilir.
- 4'üncü katmanda, 3'üncü katmanda oluşturulan bilgi ile taktik durum bilgisi kullanılarak nihai sınıflandırma yapılır.

Lu vd. tarafından ortaya konulan [4] modele göre bulanık mantık kullanarak hedef tipi, hedefin hızı, hedef açısı, uçuş irtifası, karıştırma {jamming} kabiliyeti ve

penetrasyon kabiliyeti gibi veriler kullanılarak tehdit seviyesi ölçülmeye çalışılmıştır.

Gelev vd. tarafından [5] hedefe ait hız ve açı bilgileri kullanılarak, hedefi imha etmek için atılan füze ile hedefin buluşma noktası bulanık mantık kullanılarak hesaplanmıştır.

Rizwan vd. [6] hız, irtifa ve mesafe bilgilerini kullanarak bulanık mantık ile tehdit seviyesi ölçümü yapmıştır. Rizwan vd. tarafından önerilen algoritmada giriş parametreleri için yalnızca üçer adet üyelik fonksiyonu kullanılması, giriş parametrelerinin aralıklarının 0-100 aralığında değişmesi ve tehdit seviyesi hakkında kesin karara ulaşılmasında önemli rol oynayabilecek radar elektronik destek parametrelerinin hesaba katılmaması nedeniyle gerçek durumda kullanım imkanı olmadığı ya da hatalı kararlar alınmasına neden olabileceği değerlendirilmektedir.

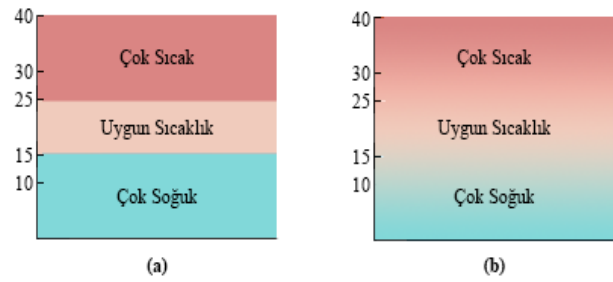
Bu çalışmada gerçeğe yakın hız, irtifa, mesafe ve tırmanma oranı değerleri kullanılarak tehdit seviyesi ölçümü yapabilen yardımcı karar destek sistemi bulanık mantık kullanılarak tasarlanmıştır. Tasarlanacak bu sistemin radar sistemlerine entegre edilmesi halinde hedeften elde edilen “tehdit seviyesi” bilgisinin radar alıcısından vericisine geri beslenmesi ve buradan hareketle çeşitli akıllı sinyal işleme işlemlerinin yapılması (hedefe özel dalga formu oluşturma vb.) ve muhtemel bir elektronik karıştırmadan sakınmak için gerekli tedbirlerin alınması (frekans atlama vb.) sağlanabilecektir.

II. BULANIK MANTIK

Kesinlik içermeyen, diğer bir ifade ile belirsiz durumlarda karar vermek, insanların günlük hayatlarında sıkça kullandıkları bir yetenektir. Bu insan yeteneğini modellemeyi amaçlayan bulanık mantık Zadeh [7] tarafından ortaya atılmıştır. Zadeh insanların bulanık durumlardaki karar mekanizmalarının, eksik veya tamamen güvenilir olmayan bir bilgiye dayanan bir sorunun yaklaşık bir cevabını çıkarabilme yeteneklerine bağlı olduğunu söyler.

Bulanık mantığının uygulanacağı sistemin veya problemin, karmaşıklığı ne kadar fazla ise ve kararı sağlayacak veri miktarı ne kadar yetersiz ise bulanıklık etkisi o kadar fazla olacaktır.

Klasik mantıkla (0 ve 1 mantığı), durumlar veya nesneler bir kümeye veya sınıfa aittir. Örnek olarak, Şekil 1.a’da karar sınırları klasik kümeleme ile, 15-25 derece arasındaki sıcaklıklar en uygun sıcaklık, 15 dereceden düşük sıcaklıklar soğuk ve 25 dereceden büyük sıcaklıklar çok sıcak olarak belirlenmiş olan bir odada ölçülen 26 derecelik sıcaklık çok sıcak olarak nitelendirilecektir. Aynı durumda Şekil 1.b’de karar sınırları bulanık kümeleme ile belirlenen başka bir ölçümleme de ise 26 derece sıcaklığa sahip oda, belirli bir oranda uygun ve belirli bir oranda çok sıcak olarak nitelendirilecektir.



Şekil 1. Oda sıcaklığı probleminde (a) klasik mantık ve (b) bulanık mantık ile oluşturulmuş karar sınırları

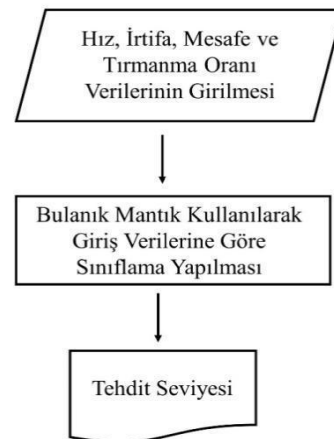
Klasik küme teorisinde olduğu gibi, kümeye dahil olan elemanlar üyelik değerleri 1, kümeye dahil olmayan elemanların üyelik değerleri ise 0 olarak ifade edilir. Bulanık kümeye dahil olup olmadıkları belirsiz olan elemanların üyelik değerleri ise 0 ile 1 arasında değerler alabilir.

Bulanık mantığın en temel yapı taşı olan bulanık kümeler üyelik fonksiyonları ile karakterize edilirler. Bulanık kümelerde dilsel ifadelerle karşılık gelen değerlere üyelik derecesi denir ve üyelik derecesi üyelik fonksiyonuyla ifade edilir.

Bulanık mantık uygulamaları, klasik mantık uygulamalarına göre daha esnek karar sınırlara sahiptir. Bu nedenle insan mantığına daha yakın kararlar verebilmektedir. Bu çalışmada, kesinlik içermeyen (elektronik destek bilgisinin olmadığı) durumlarda tespit edilen hedefin tehdit seviyesinin belirlenebilmesi için bulanık mantık kullanılmıştır.

III. ÖNERİLEN SİSTEM VE ÖZELLİKLERİ

Hava temasları deniz üzerinde hareket eden gemilere yaklaşırken niyetlerine göre belli profile göre uçarlar. Bu profillerin detaylarına baktığımızda gemide bulunan sensörler aracılığıyla tespit edilebilecek bazı değişiklikler ortaya çıkmaktadır. Bu değişiklikler hava temasının niyeti hakkında bilgi vermektedir.

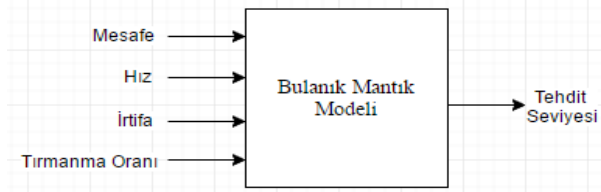


Şekil 2. Önerilen algoritma

Bu çalışmada hava temasında meydana gelen değişimler için; mesafe, hız, irtifa ve tırmanma oranı parametreleri kullanılarak, hava temasının niyeti hakkında bulanık mantık yardımıyla Şekil 2’de sunulan algoritma kullanılarak tehdit seviyesi değerlendirme işlemi yapılmıştır.

A. Hava Savunma Karar Destek Sistemi Bulanık Mantık Modeli

Bir hava temasının niyeti belirli bir denklem ile ifade edilememektedir. Ancak belirli parametrelere bağlı olarak niyet hakkında çıkarımlarda bulunulabilir. Karar destek sistemi tasarlanırken hava temasının niyetini belirleyebilecek çeşitli temas bilgileri incelenmiş ve yüksek etkiye sahip olan Şekil 3’te sunulan 4 temas bilgisi giriş olarak tercih edilmiştir.

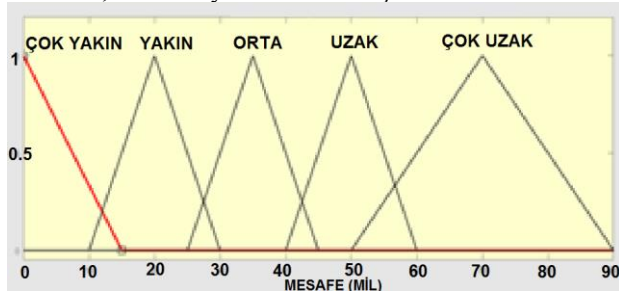


Şekil 3. Kullanılan Temas Bilgileri

B. Giriş Parametrelerinin Özellikleri

Hava savunma karar destek sistemi için Bulanık Mantık modelinde kullanılan dört adet özellik aşağıda anlatılmıştır. Dört girişe sahip olan bu karar destek sistemi tek bir çıkış ile temas anında hava aracının niyetini belirlemektedir. Temasın niyetini belirten çıkış, tehdit seviyesidir. Sistemin belirlediği tehdit seviyesi girişlerin değerlerine göre 0 ile 1 değeri arasında değişmektedir. Hava temasının tehdit seviyesi 0 değerinden 1 değerine doğru çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek seviyeleri ile dilsel olarak ifade edilmektedir.

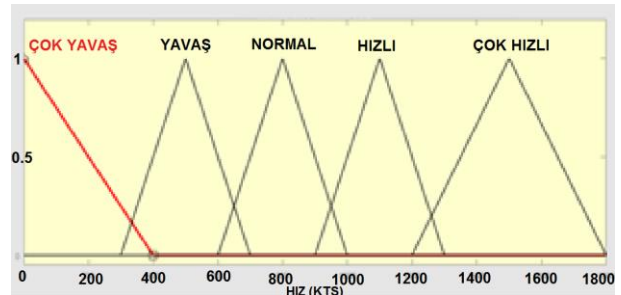
1) Mesafe: Hedef ile gemi arasındaki uzaklıktır. Hedefin gemiye göre konumu, hedefin niyeti hakkında en önemli bilgiyi verir. Sivil uçaklar her zaman sivil hava trafik hattını kullanırlar. Sivil hava trafik hattını takip etmeyen bir uçak varsa ve gemiye olan mesafesi azalıyor, burada mesafenin azalma miktarına göre hedef için tehdit seviyesi artı yönde etkilenir. Hava temasının gemi üzerine durmaksızın yaklaşmakta olduğu bir durumda, temas büyük bir tehdit teşkil etmektedir.



Şekil 4. Mesafe için üyelik fonksiyonu

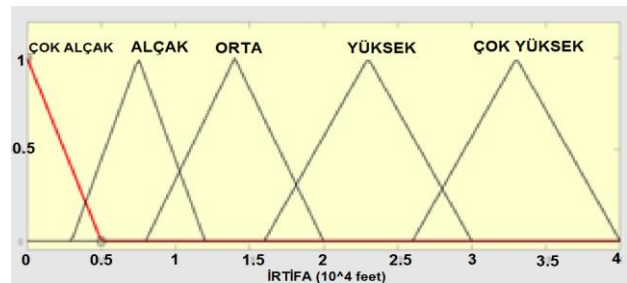
Mesafe özelliğinin, bulanık mantık üyelik fonksiyonu sınırları Şekil 4’te gösterilmiştir.

2) Hız: Hava araçları gemilere göre çok daha süratli hareket ettikleri için tepki süresi çok önemlidir. Temas anında hız ne kadar yüksek ise geminin tepki için eylem süresi o kadar kısalmaktadır. Normal şartlar altında uçaklar çok yüksek süratlere çıkmazlar ve kendileri için iktisadi sürat ne ise o şekilde ilerler. Ancak bir uçak hiçbir sebep olmaksızın yüksek süratlerde ilerliyorsa, bu gemi için tehdit oluşturabilme ihtimalinin olduğu anlamına gelmektedir. Hız özelliğinin, bulanık mantık üyelik fonksiyonu sınırları Şekil 5’te gösterilmiştir.



Şekil 5. Hız için üyelik fonksiyonu

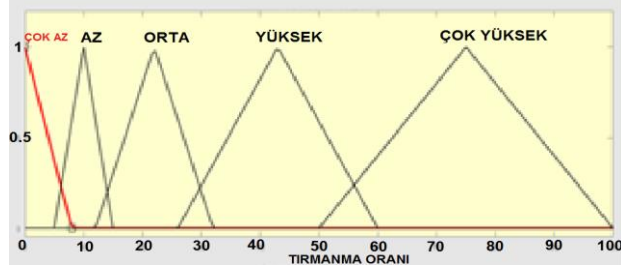
3) İrtifa: Hava temaslarının irtifaları uçağın niyeti hakkında değerlendirme yapmaya yardımcı olmaktadır. Örneğin yüksek irtifalarda sabit hızla ilerleyen bir uçağın sivil uçak olma ihtimali çok yüksektir. Ancak, düşük irtifalarda ilerleyen uçakların sivil uçak olma ihtimali çok düşüktür. Bu sebeple, tespit edilen temasın irtifa değerlerinin düşük olması, bahse konu temasın tehdit oluşturabileceğini göstermektedir. İrtifa özelliğinin, bulanık mantık üyelik fonksiyonu sınırları Şekil 6’da gösterilmiştir.



Şekil 6. İrtifa için üyelik fonksiyonu

4) Tırmanma Oranı: Hava temaslarının uçuş esnasında yüzde olarak irtifa değiştirme büyüklüğü anlamına gelmektedir. Tespit anından itibaren irtifası %10 azalan bir uçağın tırmanma oranı “10” şeklinde ifade edilmiştir. Uçaklar normal rotalarına intikaldeyken çok büyük tırmanma oranları kullanmazlar. Ancak, bir uçak büyük tırmanma oranıyla ilerliyorsa, bu uçakta şüpheli bir durumun olduğu değerlendirilebilir. Bu kapsamda,

tırmanma oranının büyüklüğüne göre tehdit seviyesi artacak şekilde bulanık mantık modeli tasarlanmıştır. Tırmanma oranı özelliğinin, bulanık mantık üyelik fonksiyonu sınırları Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. Tırmanma oranı için üyelik fonksiyonu

IV. SİMÜLASYON SONUÇLARI

Oluşturulan bulanık mantık hava savunma karar destek sistemi Tablo I’de görülen çeşitli tehdit senaryolarına istinaden test edilmiştir. Tehdit seviyesi belirlenirken, anlık olarak mesafe, hız, irtifa ve tırmanma oranı bilgileri kullanılmıştır.

| Örnek | Mesafe | Hız | İrtifa | Tırmanma Oranı |
|-------|--------|------|--------|----------------|
| 1 | 70 | 600 | 20000 | 2 |
| 2 | 45 | 600 | 20000 | 2 |
| 3 | 30 | 600 | 20000 | 2 |
| 4 | 10 | 600 | 20000 | 2 |
| 5 | 70 | 1200 | 20000 | 2 |
| 6 | 45 | 1200 | 20000 | 2 |
| 7 | 30 | 1200 | 20000 | 2 |
| 8 | 10 | 1200 | 20000 | 2 |
| 9 | 70 | 1200 | 1000 | 2 |
| 10 | 45 | 1200 | 1000 | 2 |
| 11 | 30 | 1200 | 1000 | 2 |
| 12 | 10 | 1200 | 1000 | 2 |
| 13 | 70 | 1200 | 1000 | 20 |
| 14 | 45 | 1200 | 1000 | 20 |
| 15 | 30 | 1200 | 1000 | 20 |
| 16 | 10 | 1200 | 1000 | 20 |

Tablo I. Test için oluşturulan senaryolar

Şekil 2’de verilen sistemin bulanık modeli oluşturulurken literatürde en sık kullanılan Sugeno ve Mamdani yöntemleri için ayrı ayrı sistemler oluşturulmuştur. Sugeno [8] ve Mamdani [9] yöntemleri ile oluşturulan her bir bulanık sistem üçgensel ve gaussian üyelik fonksiyon şekilleri ile denenmiştir.

Tablo I’de verilen 16 farklı senaryo, üçgensel üyelik fonksiyonlu Mamdani (TM), gaussian üyelik fonksiyonlu Mamdani (GM), üçgensel üyelik fonksiyonlu Sugeno (TS)

ve gaussian üyelik fonksiyonlu Sugeno (GS) bulanık sistemlerine uygulanmıştır. Belirlenen tehdit seviyeleri Tablo II’de verilmiştir. Sistemin tespit ettiği tehdit seviyesinin, 0 değeri hedefin çok düşük tehdit oluşturduğunu, 1 değeri ise çok yüksek tehdit oluşturduğunu ifade etmektedir.

| Örnek | TM Tehdit Seviyesi | GM Tehdit Seviyesi | TS Tehdit Seviyesi | GS Tehdit Seviyesi |
|-------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 0.238 | 0.2436 | 0.2281 | 0.2555 |
| 2 | 0.4412 | 0.4566 | 0.4441 | 0.473 |
| 3 | 0.5808 | 0.5946 | 0.5995 | 0.6187 |
| 4 | 0.7176 | 0.6928 | 0.7939 | 0.7621 |
| 5 | 0.2756 | 0.2849 | 0.2587 | 0.3143 |
| 6 | 0.4917 | 0.5017 | 0.4985 | 0.5525 |
| 7 | 0.6422 | 0.6384 | 0.6539 | 0.696 |
| 8 | 0.8074 | 0.7728 | 0.8673 | 0.8619 |
| 9 | 0.2847 | 0.2867 | 0.278 | 0.3341 |
| 10 | 0.5061 | 0.511 | 0.5284 | 0.5776 |
| 11 | 0.6693 | 0.6592 | 0.6811 | 0.7195 |
| 12 | 0.8498 | 0.8138 | 0.8987 | 0.8903 |
| 13 | 0.2894 | 0.2911 | 0.2841 | 0.3408 |
| 14 | 0.5169 | 0.5115 | 0.5389 | 0.5868 |
| 15 | 0.6909 | 0.6909 | 0.6913 | 0.7287 |
| 16 | 0.8875 | 0.8748 | 0.912 | 0.9023 |

Tablo II. Değişik bulanık mantık sistemlerine uygulanan örnek senaryolara göre elde edilen tehdit seviyeleri

Tablo I’de verilen senaryolar ve Tablo II’de elde edilen tehdit seviyeleri incelendiğinde, sistemlerin her bir senaryo için beklenen tehdit seviyesinde değerler elde ettikleri görülmektedir. Tırmanma oranı ve hızın en yüksek irtifa ve mesafenin en düşük olduğu durum en yüksek tehdit seviyesi ile ifade edilmelidir. 16 numaralı senaryo ve sonuçlar incelendiğinde, bütün sistemlerin 16 numaralı senaryo için en yüksek tehdit seviyesine ulaştığı görülmektedir.

Tablo II’de elde edilen sonuçlar incelendiğinde Mamdani ve Sugeno yöntemlerinin birbirlerine yakın tehdit seviyelerinde sonuçlar ürettikleri görülmektedir. Çevre koşulları ve değerlendirme şartları değişkenlik gösterdiği için hangi sistemin tercih edilebileceğine karar vermek zordur. Yakın mesafedeki hedefleri içeren senaryolarda Mamdani yöntemlerinin daha düşük tehdit seviyeleri belirledikleri görülmektedir. Yakın mesafenin daha önemli olduğu koşullarda, Sugeno yöntemi daha yüksek değerlerde tehdit seviyeleri elde ettiği için, Mamdani yöntemine göre daha güvenilir olduğu söylenebilir. Hangi yöntemin daha güvenilir olduğuna ancak gerçek koşullarda yapılacak denemeler ile karar verilebilir.

V. SONUÇ

Savaş gemileri, saptanan bir hedefin belirlenebilen bilgilerine göre hedefin hareket amacını belirlemeli ve durumun gerektirdiği savunma düzeninde hareket etmelidir. Bu çalışmada hedefin mesafe, hız, irtifa ve tırmanma oranı bilgileri kullanılarak bulanık mantık ile hedefin gemi için oluşturabileceği tehdit seviyesi belirlenmiş ve savaş gemilerinin hava hedeflerine karşı tepki süresinin kısaltılması amaçlanmıştır.

Çeşitli nedenlerden dolayı, dost ve tarafsız birlikler arasında bilgi akışının kesildiği, gemi üzerine yaklaşan hava temasının ne olduğunun anlaşılmasını sağlayacak elektronik yayın yapan cihazların tespitinin yapılamadığı durumlarda kullanılabilecek “Bulanık Mantık Hava Savunma Karar Destek Sistemi”nin etkinliğinin artırılması için gerçek durumlarda denenmesi gerekmektedir. Ayrıca mevcut durum (savaş, barış vb.), sistemi kullanacak geminin savunmaya yönelik kabiliyetleri gibi özellikler de dikkate alınarak sistemin “daha doğru” sonuç vermesi sağlanabilecektir.

Bu çalışmada en kötü senaryoya göre hazırlanan tehdit seviyesi tespit sistemi, rota izindeki anormalliğin tespit edilmesi, elektronik destek sistemlerinden gelen bilgilerin sisteme entegre edilmesi, çeşitli ön istihbarat bilgilerinin kullanılması, karar veren komutanların niyetlerinin ilave edilmesi ile daha da geliştirilebilir.

KAYNAKÇA

- [1] “Air defense system will protect small cities”, *Published in: Electrical Engineering (Volume: 81, Issue: 6)*, 484 – 485, June 1962
- [2] Adrian, O., “Future surface radar technology: From air defence to air and missile defence,” *IEEE Radar Conference*, 49-54, 2007
- [3] Smitt, WW, Bruggeman, B., “Decision support Systems and modern maritime air defence Fuzzy identification of targets,” 1996
- [4] Y. Lu, Y. Wang, Y. Lei and Y. Wang, “Air targets threat assessment based on fuzzy rough reasoning,” *The 27th Chinese Control and Decision Conference (2015 CCDC)*, Qingdao, 885-890, 2015
- [5] Gelev, S., Gacovski, Z., Jiea-he, X., Yuan-wei, J., Deskovski, S., “Fuzzy logic in fire control systems for air defence,” 2007
- [6] H. Rizwan, S. Tayyaba, M. W. Ashraf, H. Rasheed, Z. Ahmed, B. Ali, “Threat evaluation of suspicious target for cognitive radar,” *17th IEEE International Multi Topic Conference 2014*, Karachi, 456-461, 2014.
- [7] Zadeh, L. A., “Fuzzy sets,” *Information and control*, 8(3), 338-353, 1965
- [8] Sugeno, M., “Industrial applications of fuzzy control,” *Elsevier Science Pub. Co.*, 1985
- [9] Mamdani, E.H., S. Assilian, “An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller,” *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1-13, 1975