

GAZİ

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES

Fuzzy Classifier Design for Detection of Floating or Stationary Targets using Navigational Radar Data

Hande Erkaymaz^a, Semih Duran^b, Buğrahan COŞKUN^c, Ali Ertuğrul Şahin^d

Submitted: 12.02.2023 Revised: 06.03.2023 Accepted: 07.06.2023 doi:10.30855/gmbd.0705073

ABSTRACT

Keywords: Radar, Fuzzy Classifier, Maritime surface object classification.

^a National Defence University,
Turkish Naval Academy,
Dept. of Elect. Electronics Engineering
34942- İstanbul, Türkiye
Orcid: 0000-0003-3226-0627
e mail: herkaymaz@dho.edu.tr

^b National Defence University,
Turkish Naval Academy,
Dept. of Elect. Electronics Engineering
34942- İstanbul, Türkiye
Orcid: 0000-0003-3292-5561
e mail: semihduran511@gmail.com

^c National Defence University,
Turkish Naval Academy,
Dept. of Elect. Electronics Engineering
34942- İstanbul, Türkiye
Orcid: 0000-0002-7299-6455
e mail: bugrahancoskun98@gmail.com

^d National Defence University,
Turkish Naval Academy,
Dept. of Elect. Electronics Engineering
34942- İstanbul, Türkiye
Orcid: 0000-0003-4074-3266
e mail: Arda_55400@icloud.com

*Corresponding author:
herkaymaz@dho.edu.tr

Anahtar Kelimeler: Seyir Radarı, Bulanık sınıflandırıcı, Deniz üstü nesne sınıflandırma

The most important resource in navigational safety for marine vehicles is radar information. The information from the radar is read continuously by an operator and the navigation process is tried to be carried out safely. In navigational safety, it is very important that the operator does not misclassify for object detection. In this study, for the first time in the literature, a fuzzy logic-based classifier has been created for navigational safety in the light of information obtained from radar with artificial intelligence. The classifier is designed to detect vessels, land, buoys and unidentified objects. Since there is no data set presented in the literature, fuzzy logic model, which is an expert-based artificial intelligence method, has been preferred. On the other hand, in order to test the performance of the model, a dataset is proposed with the algorithm designed synthetically from the help of expert experiences. As a result of the analysis, it has been shown that the fuzzy model can detect objects successfully. Moreover, it is predicted that this model will play a key role in the design of intelligent radar systems in the future

Seyir Radar Verileri Kullanılarak Yüzen veya Sabit Hedeflerin Tespiti İçin Bulanık Sınıflandırıcı Tasarımı

ÖZ

Deniz araçları için seyir güvenliğinde en önemli kaynak radar bilgisidir. Radardan gelen bilgiler bir operatör tarafında sürekli okunarak seyir süreci güvenli şekilde yürütülmeye çalışılmaktadır. Seyir güvenliğinde, nesne tespiti için operatörün hatalı sınıflandırma yapmaması çok önemli bir durumdur. Buradan hareketle bu çalışmada, literatürde ilk defa yapay zekâ ile radardan alınan bilgiler ışığında seyir güvenliği için bulanık mantık temelli bir sınıflandırıcı oluşturulmuştur. Sınıflandırıcı, deniz araçları, kara parçası, şamandıra ve tanımsız nesnelere algılayabilecek şekilde tasarlanmıştır. Hali hazırda literatürde sunulan bir veri seti olmaması nedeniyle uzman temelli yapay zekâ metodu olan bulanık mantık modeli tercih edilmiştir. Diğer taraftan, oluşturulan modelin başarımını test etmek için, uzman deneyimleri yardımıyla sentetik olarak oluşturulan algoritma ile bir veri seti önerilmiş ve model bu veriyle test edilmiştir. Analiz sonucunda bulanık modelin başarılı biçimde nesne tespiti yapabildiği gösterilmiştir. Dahası, bu modelin gelecekte akıllı radar sistemleri tasarımları için anahtar rol oynayacağı öngörülmektedir.

1. Giriş (Introduction)

Mühendislik Tasarımı, fiziksel çözüm uzayında iyi tanımlanmış ihtiyaçları karşılayan ürünü oluşturmak için yürütülen faaliyetler olarak ifade edilebilir. Bu faaliyetler yürütülürken sürekli yenilenen bir süreç söz konusudur. Tasarımcı, tasarım sırasında deneyimlere, algılara veya bazı temel matematiksel analizlere dayalı olarak sistemin bir ön tasarımını geliştirir. Ön tasarımın kabul edilebilir olup olmadığını belirlemek için analizler yapılır.

Radarlar, teknolojik olarak radyo dalgaları ile taşınan enerjinin uzaktaki nesneye ulaşip yansırarak tekrar kaynağa geri dönmesi ile elde edilen bilgiyi işleyerek nesne tipi, yön ve uzaklık kestirimlerini yapabilen cihazlardır [1]. Genel olarak kullanım alanlarına göre hava ve deniz radarları olmak üzere ikiye ayrılırken, çalıştığı frekans bandına (x band, s band) göre de sınıflandırılabilirler. Bir radar temelde sinyal üretici, verici, alıcı ve anten yapılarından oluşmaktadır [1] [2]. Bu yapısal düzende birden fazla kontrol edilebilen anten teknolojisi kullanılarak adaptif hedef takibi ve önceliklendirme işlemleri gerçekleştirilebilmektedir. Bu işlemsel süreçte, hız, boyut, pozisyon ve yön parametreleri radar başarımını artırmak için öncelikli olarak kullanılmaktadır.

Son yüzyılda, endüstrinin pek çok alanında doğrusal olmayan karar sistemlerinde başarımı artırmak amacıyla yapay zekâ metotları sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır [3]. Özellikle Zadeh, 1965 yılında önerilen bulanık küme teorisi, bir kümeye ait olma kararsızlığının daha iyi modellenebilmesi nedeniyle kontrol ve benzetim alanlarında sıklıkla kullanılabilir hale gelmiştir [4]. Diğer yapay zekâ metotlarının aksine uzman deneyimleriyle oluşturulan kural tabanı yardımıyla parametre kestiriminde başarımının yüksek olduğu gözlemlenmiştir [4-6]. Son zamanlarda deniz araçlarının seyir süreçlerinde, takip, tehdit ve çarpışma risk analizi sınıflandırmalarında Bulanık Mantık (BM) yaklaşımı başarılı bir şekilde kullanılabileceği gösterilmiştir.

Hava araçlarında; Beşer ve arkadaşları, tasarladıkları 4 girişli (Mesafe, Hız, İrtifa ve Tırmanma Oranı) ve 1 (Tehdit seviyesi) çıkışlı BM model tasarlanmıştır. Alınan girişlere göre denizde veya havadaki araçlar için tehdit seviyesi farklı senaryolar için test edilerek başarımları ortaya konulmuştur [7]. Er, yapmış olduğu tez çalışmasında, faz dizili radar optimum parametrelerinin ayarlanması amacıyla BM model tasarlamıştır [8]. Modelde, hedefler üzerinde radar hüzmesinin hedef üzerinde kalma ve tekrar bakma sürelerini tanımlayan TBS değerleri ayarlanmak suretiyle tespit ve takip başarımı artırılmaya çalışılmıştır. Son aşamada model, farklı test senaryolarıyla test edilmiş ve istatistiksel başarımları ortaya konulmuştur. Coşkun, 2021 yılında önerdiği tez çalışmasında radar kaynaklı bir hava savunma sistemi tasarlamıştır [9]. Bu sistem radar bilgilerinden elde edilen bilgileri giriş olarak hedef nesnenin tehdit seviyesini BM model ile kestirmeye çalışmaktadır. Testler sonucunda önerilen modelin yaklaşık %99.8 gibi yüksek bir başarıma sahip olduğu gösterilmiştir.

Diğer taraftan deniz araçlarında; Shaukat ve Otero, deniz altılar için gerçek zamanlı bir konum tespit modeli önermişlerdir [10]. Bu model, BM ve radial temelli yapay sinir ağlarını birlikte kullanarak değişen koşullarda konum sapmalarını hızlı tespit edebilmektedir. Önerilen modelin başarımları Monte Carlo simülasyonlarıyla test edilerek gösterilmiştir. Liu ve arkadaşları, geleceğin deniz araçları olarak kabul edilen otonom gemilerde hedef gemi türünü belirlemek amacıyla radar sinyalleri ve otomatik tanımlama sistemleri (AIS) verilerini birleştirerek kullanan kalman filtreli hibrit bir bulanık mantık temelli karar sistemi oluşturmuşlardır [11]. Sistemin farklı senaryolar yardımıyla çoklu gemileri algılayabildiği gösterilmiştir. Shi ve Arkadaşları, bölgesel gemi çarpışma riskini tahmin etmek için bir BM model ortaya koymuşlardır [12]. Yapılan analizlerde önerilen modelin risk analizini başarılı şekilde kestirebildiği ortaya konulmuştur. Çınar, BM temelli bir radar kaynak yönetim sistemi önermiştir [13]. Tasarlanan sistem, savaş gemilerinin yoğun trafik koşullarında radar sistemlerinin karar modüllerinden kaynaklı gecikmeleri azaltacak şekilde hızlı ve doğru karara ulaşmayı amaçlamaktadır. Böylece daha güvenilir ve hatasız radar takipleri icra edileceği vurgulanmıştır. Meng ve Tian, hipersonik araçların (HGVs) tanımlanıp izlenebilmesi için sıralı radar verilerini işleyerek araç tehdit sınıflandırmasını yapabilecek tip 2 BM modeli önermişlerdir [14]. Bu modelde, radar yankılarından gelen darbeleri kutupsal olarak değerlendirip araçların manevra, hız, azimut ve mesafe verileri matematiksel olarak hesaplanarak BM modele giriş olarak sunulmuştur. Simülasyon sonucunda, modelin hedef aracı kesin bir izleme oranı, ortalama ilk öncelik, net bir tehdit derecesi ve daha kısa bir dengeleme süresi ile başarılı şekilde tespit edip izleyebildiği ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada, literatür araştırmalarında gözlemlendiği üzere deniz seyir sürecinde radar tabanlı nesne sınıflandırma işlemi insan kaynağı tabanlı olması nedeniyle insan hatalarını minimum indirmek ve son karara yardımcı bir akıllı model oluşturmak amacıyla literatürde ilk defa uzman temelli BM tabanlı bir sınıflandırıcı tasarlanmıştır. Elde edilen sınıflandırıcı, sentetik olarak hazırlanan farklı senaryolar ile analiz edilip test edilmiştir.

2. Materyal ve Metod (Material and Method)

2.1. Veri seti ve Ön hazırlık (Dataset and Pre-processing)

Sınıflandırıcı modelin tasarımında, hazır bir veri seti olmaması nedeniyle askeri ve sivil radar seyir uzmanlarından bilgiler alınarak tasarlanan modelin giriş kriterleri belirlenmiştir. Ek olarak radar çıktıları analiz edilerek belirlenen girişlerin nicel sınırları hesaplanmıştır. Önerilen BM sınıflandırıcı 4 giriş ve 1 çıkışa sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Burada, Hız, boyut, pozisyon ve yön bilgileri giriş, Nesne sınıfı bilgisi ise çıkış olarak seçilmiştir. Toplamda 1427 örnek ile oluşturulan veri setine ait istatistik sonuçlar Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Model girdi ve çıktılarının istatistiksel sınırları (Statistical limits of model inputs and outputs).

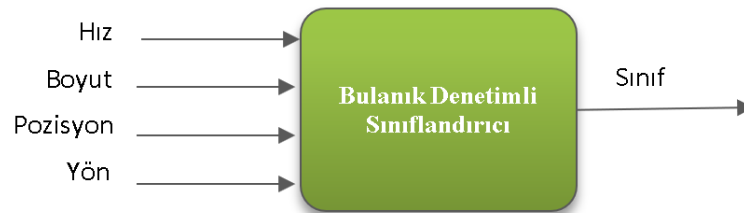
		Min-Max	Ort.	Std
Girişler	Hız	0-40 (knot)	14.69	9.397
	Boyut	0-500(m)	207.53	108.57
	Pozisyon	Sabit-Değişken	0.996	0.065
	Yön	0-1	0.996	0.065
Çıkış	Sınıf	0-7		

2.2. Bulanık Mantık (Fuzzy Logic)

Bulanık Mantık(BM) çıkarım sistemi(FIS), uzman deneyimine dayalı bulanık küme teorisine dayalı bir yapay zekâ modelidir [3]. Genellikle kontrolcü olarak görülen BM modeller son zamanlarda sınıflandırıcı olarak ta karşımıza çıkmaktadır. Temel olarak doğrusal olmayan test zorlukları sürecinde uzman deneyimi ile kararsızlık durumunu çok iyi modelleyebilmektedir [3] [4]. BM modeller; girişlerin dilsel ifadeler ile betimlenmesi (bulanıklaştırma), Dilsel ifadelerden bulanık çıktıların elde edilmesi için kestirim kurallarının oluşturulması (Kural Tabanı) ve bulanık çıktıların gerçek çıkışlara dönüştürülmesi (Durulaştırma) süreçlerini içermektedir. BM başarımı en çok deneyimlerden oluşturulan kural tabanına bağlı olarak değişmektedir. Literatürde, Mamdani ve Takagi-Sugeno çıkarım yöntemleri ile bulanık kümelerden dilsel çıktıların elde edilmesinde sıklıkla kullanılan yöntemlerdir [15] [16] .

2.3. Bulanık sınıflandırıcı model (Fuzzy classifier model)

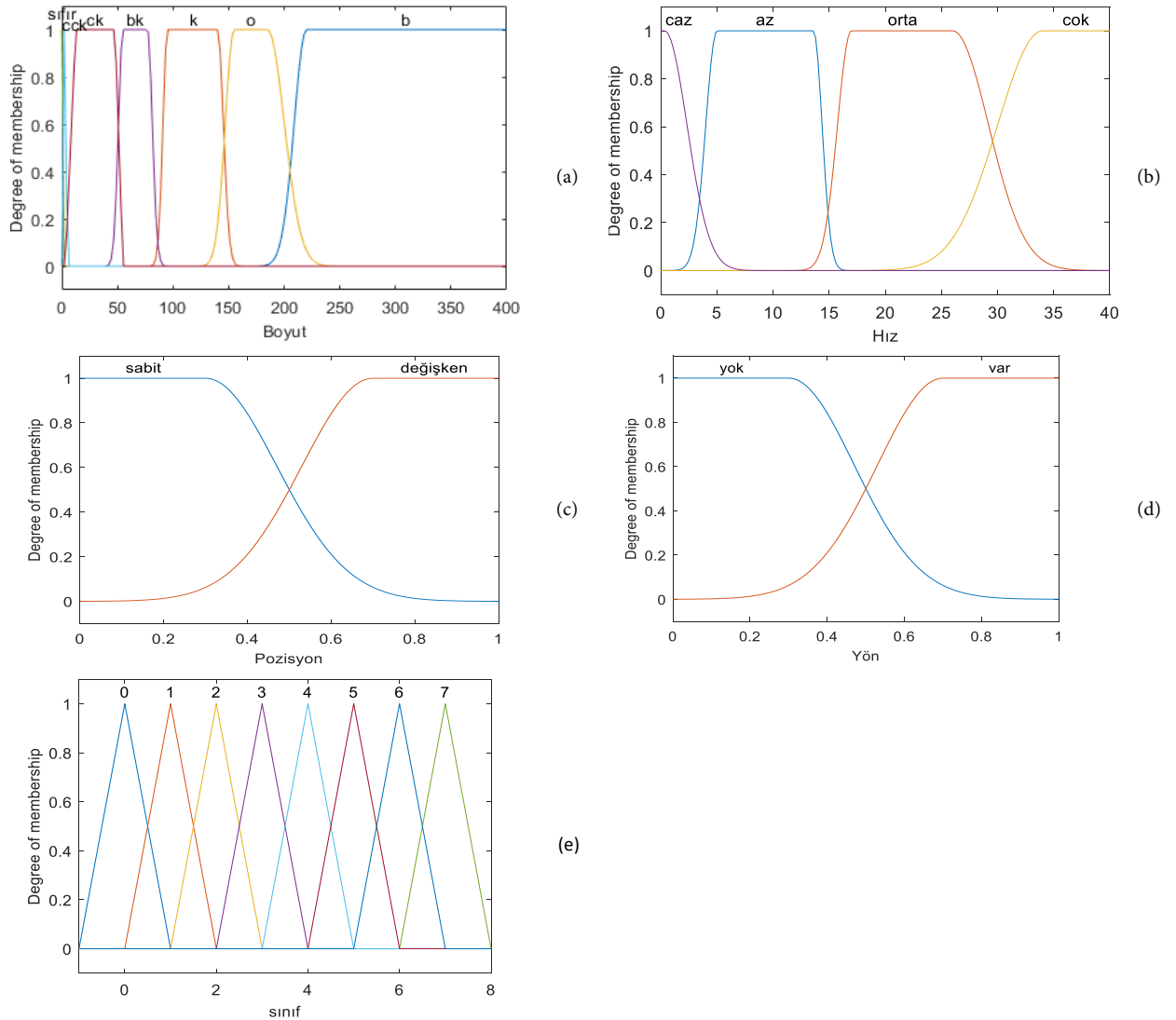
Çalışmada, dört giriş, 1 çıkışlı bulanık sınıflandırıcı tasarımı gerçekleştirilmiştir. Model, Mamdani yöntemi temelli ve 4 giriş – 1 çıkış olacak şekilde tasarlanmıştır. Tasarıma ait model blok diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Tasarlanan bulanık sınıflandırıcının blok şeması (Block diagram of designed fuzzy classifier)

Model girişleri olarak, radar yansılıyla(echo) elde edilen Boyut, Hız pozisyon ve yön gibi veriler seçilmiştir. Boyut girdisi(Şekil 2a); 0-400m aralığında, 7 üyelik kümesi kullanılarak, hız girdisi(Şekil 2b); 0-40knot aralığında, 4 üyelik kümesiyle, pozisyon(Şekil 2c) ve yön(Şekil 2d) girdileri; 0-1 aralığında 2 üyelik kümesi ile tasarlanmıştır. Diğer taraftan, çıkış olarak 8 üyelik kümesinden oluşan sınıf bilgisi tasarımı

oluşturmuştur(Şekil 2e). Burada 8 sınıf; 0 bilinmeyen cisim, 1 kara parçası, 2 şamandıra, 3 balıkçı teknesi, 4 destroyer, 5 fırkateyn, 6 hücumbot, 7 uçak gemisi olarak düşünülmüştür. Girişler ve çıkış bulanık fonksiyonlar ile modellenerek tasarımın bulanıklaştırma aşaması gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Bulanık sınıflandırıcı giriş üyelik fonksiyonları, a) Boyut, b) Hız, c) Pozisyon, d) Yön, e) Çıkış üyelik fonksiyonu (Fuzzy classifier input membership functions, a): Size, b) Velocity, c) Position, d) Direction, e) Output membership function).

Uzman görüşlerinden elde edilen kıstaslar yardımıyla, bulanık sınıflandırıcının kural tabanı oluşturulmuş ve örnek olarak, kural tabanında kullanılan 8 adet kural Tablo 2’de gösterilmiştir.

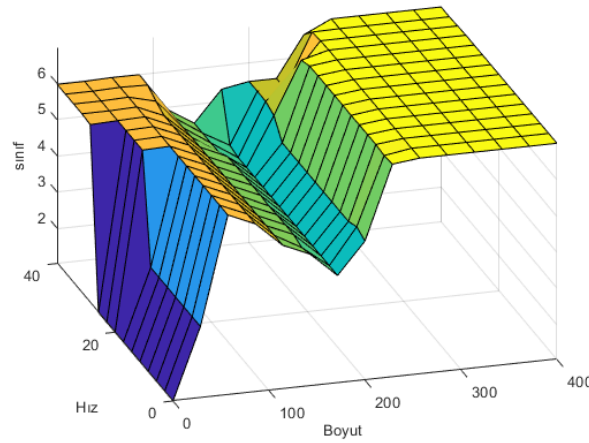
Tablo 2. Örnek kural tabanı uzayı (Sample rule base space).

Kurallar	Girişler				Çıkış
	Boyut	Hız	Pozisyon	Yön	
K1	sifir	caz	sabit	yok	1
K2	cck	caz	değişken	yok	0
K3	ck	az	değişken	var	3
K4	bk	az	değişken	var	6
K5	cck	caz	sabit	yok	2
K6	b	orta	değişken	var	7
K7	o	az	değişken	var	4
K8	o	orta	değişken	var	4

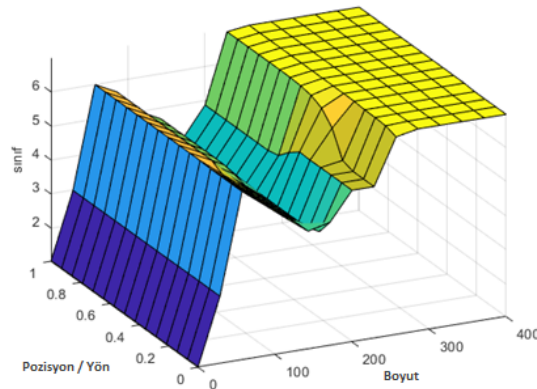
Tasarımın son aşamasında ise ağırlık merkezi çıkarım yöntemi kullanılarak bulanık çıkışlar durulaştırılarak, gerçek çıkışlara dönüştürülmüştür. İstatistiksel başarı kriterleri yardımıyla ortaya konulan modelin başarımı ölçülmüştür.

3. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Önerilen model tasarımında, literatürde hali hazırda bir veri seti bulunmamaktadır. Bu bağlamda, tasarım aşaması seyir radar konusunda uzman personelin deneyimleri dikkate alınarak hazırlanmıştır. Buradan hareket ile tasarlanan modelin doğruluğunda giriş ve çıkışlar arasındaki korelasyonun seviyesi artırılmaya çalışılmıştır. Önerilen bulanık modelin performansını analiz edebilmek için, giriş uzayına karşılık, çıkışın yüzey grafikleri çizilerek karakteristik davranış ortaya konulmuştur. Gözlemlenen yüzey grafikleri Şekil 3'te gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3. Bulanık sınıflandırıcının 3D giriş-çıkış uzayındaki davranışı; a) boyut, hız ve çıkış arası, b) boyut, pozisyon/yön ve çıkış arası (Behavior of fuzzy classifier in 3D input-output space; a) between size, velocity and output, b) between size, position/direction and output).

Şekil 3'te görüldüğü gibi çıkış davranışını boyut ve hız girdileri direkt olarak etkilemekte ve özellikle boyut girdisi aralıklarında çıkışın önemli ölçüde etkilendiği gözlemlenmiştir. Askeri seyir sırasında radar analizlerindeki beklentilerle örtüşen şekilde sınıflandırma yoğunluğunun 50-250m aralığında gürbüz etkiye sahip olduğu görülmüştür. Diğer taraftan, pozisyon ve yön bilgileri aynı aralıkta sınıflandırma keskinliğini artırıp başarımı artırdığı ölçümlenmiştir.

Son olarak, tasarlanan sınıflandırıcının başarımını ölçmek amacıyla uzman temelli gözlemler dikkate alınarak sentetik bir veri seti oluşturulmaya çalışılmıştır. Veri seti sınır aralıklarında rastgele olarak belirlenmiştir. Veri setinde, her sınıf için birden fazla örnek olacak şekilde, aralık genişlikleri göz önüne alınarak homojene yakın olarak 490 örneklilik veri uzayı elde edilmiştir. Elde edilen veri setinin dağılımını göstermek için rastgele 48 örnek seçilmiş ve model başarımı bu senaryo ile test edilmiştir. Test kriterleri olarak, ortalama mutlak hata(Mae), ortalama karesel hata(Mse) ve Determinasyon Katsayısı (R2) kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. 48 örneklı rassal veri seti için istatistik analiz sonuçları (Statistical analysis results for 48-sample random dataset.).

Boyut	Hız	Poz.	Yön	Beklenen	Tahmin edilen	Mutlak Fark	Karesel Fark
2	3	1	1	0	0.0025	0.0025	0.0000
2	2	1	1	0	0.0016	0.0016	0.0000
0	0	0	0	1	1.0005	0.0005	0.0000
2	0	0	0	2	1.9995	0.0005	0.0000
4	0	0	0	2	2.0000	0.0000	0.0000
1	0	0	0	2	1.9995	0.0005	0.0000
5	0	0	0	2	3.0050	1.0050	1.0100
3	0	0	0	2	1.9995	0.0005	0.0000
23	6	1	1	3	3.0001	0.0001	0.0000
9	3	1	1	3	3.0005	0.0005	0.0000
51	8	1	1	3	4.5321	1.5321	2.3474
13	13	1	1	3	3.0001	0.0001	0.0000
17	11	1	1	3	3.0001	0.0001	0.0000
43	11	1	1	3	3.0641	0.0641	0.0041
30	7	1	1	3	3.0001	0.0001	0.0000
5	2	1	1	3	3.0007	0.0007	0.0000
150	28	1	1	4	4.2027	0.2027	0.0411
194	28	1	1	4	4.3239	0.3239	0.1049
161	12	1	1	4	4.0004	0.0004	0.0000
171	22	1	1	4	4.0002	0.0002	0.0000
179	4	1	1	4	4.0067	0.0067	0.0000
198	12	1	1	4	4.6519	0.6519	0.4249
180	28	1	1	4	4.0080	0.0080	0.0001
182	18	1	1	4	4.0149	0.0149	0.0002
106	30	1	1	5	4.9996	0.0004	0.0000
98	30	1	1	5	4.9996	0.0004	0.0000
138	23	1	1	5	4.8627	0.1373	0.0188
136	25	1	1	5	4.9162	0.0838	0.0070
145	11	1	1	5	4.5601	0.4399	0.1936
106	30	1	1	5	4.9996	0.0004	0.0000
116	9	1	1	5	4.9997	0.0003	0.0000
141	12	1	1	5	4.7520	0.2480	0.0615
55	35	1	1	6	5.9995	0.0005	0.0000
69	32	1	1	6	5.9996	0.0005	0.0000
62	22	1	1	6	5.9995	0.0005	0.0000
59	11	1	1	6	5.9995	0.0005	0.0000
62	18	1	1	6	5.9995	0.0005	0.0000
71	1	1	1	6	5.9994	0.0006	0.0000
66	30	1	1	6	5.9996	0.0004	0.0000
71	20	1	1	6	5.9995	0.0005	0.0000
367	4	1	1	7	6.9993	0.0007	0.0000
269	13	1	1	7	6.9993	0.0007	0.0000
214	20	1	1	7	6.3218	0.6782	0.4600
230	22	1	1	7	6.9346	0.0654	0.0043
316	18	1	1	7	6.9993	0.0007	0.0000
372	23	1	1	7	6.9993	0.0007	0.0000
357	7	1	1	7	6.9993	0.0007	0.0000
330	22	1	1	7	6.9993	0.0007	0.0000
					Mae: 0.1142	R² 0.9739	
					Mse: 0.0975		

Tablo 3'te görüldüğü gibi, 48 örneklı rastgele seçilen veri seti için istatistiksel test sonuçları; ortalama mutlak hata 0.11, ortalama karesel hata ise 0.097 ve determinasyon katsayısı ise yaklaşık %97 olarak elde edilmiştir.

Diğer taraftan sentetik olarak elde edilen 490 örneklı tüm veri setine ait istatistiksel başarımlar sonuçları da elde edilmiş ayrı ayrı tüm sınıflara ait sınıflandırma başarımlarını karmaşıklık matrisi ve istatistiksel analiz ile elde edilmiştir. Şekil 4'te tüm veri seti için modelin sınıfsal başarımlar oranları ve Tablo 4'te ise tüm veri seti için gözlemlenen istatistiksel başarımlar oranları gösterilmiştir.

0	4							
1		1						
2			4	1				
3				78	4	7		
4					95	5		
5						90	1	
6							100	
7							4	
							91	
	0	1	2	3	4	5	6	7

Şekil 4. Tüm veri seti için sınıf bazlı başarımlar oranları (Class-based success rates for all dataset).

Tablo 4. Tüm veri seti istatistiksel başarımlar sonuçları (All dataset statistical performance results).

Sınıflar	Mae	Mse	Doğruluk (%100)
0	0.002012	4.25311E-06	100
1	0.000495	2.45074E-07	100
2	0.201311	0.202005158	80
3	0.187613	0.254575179	87.64
4	0.095957	0.034915954	95
5	0.101563	0.049110894	93.75
6	0.000513	2.73184E-07	100
7	0.045727	0.035971431	95.79
		R²	0.96858481

Şekil 4 ve Tablo 4 analiz edildiğinde tasarlanan bulanık sınıflandırıcının ortalama 0.085 mutlak hata, ortalama 0.072 karesel hata ile düşük bir tahmin hatasına, 0.96 determinasyon katsayısı ile başarılı bir korelasyon ortalamasına ve ortalama %94.49 doğruluk katsayısına sahip olduğu görülmüştür. Önerilen model, deneyim tabanlı oluşturulan veri seti ile test edildiğinde tüm sınıflar için %80 ve üzerinde sınıflandırma başarımlarını sergilemiştir.

4. Sonuçlar (Conclusion)

Deniz seyir sürecinde radar üzerinde nesne tespiti insan kontrolü ile sağlanmaktadır. Bu nedenle, insan kaynaklı hata nedeniyle ticari ve askeri gemiler için zaman zaman istenmeyen problemlerle karşılaşılabilir. Bu çalışmada, seyir sürecinde radar tahminlerinin yapay zekâ ile yapılması amacıyla bir karar destek sistemi ortaya konulmuştur. Daha önce literatürde ortaya konulmuş bir veri seti olmaması nedeniyle burada uzman temelli bir yapay zekâ algoritması olan Tip 1 Bulanık mantık metodu seçilmiş ve literatürde ilk defa bulanık tabanlı bir radar tahmin modeli geliştirilmiştir.

Tasarlanan model analiz edildiğinde görülmüştür ki, bulanık sınıflandırıcı 8 sınıfı başarılı bir şekilde algılayabilmektedir (%80 ve üzeri). Analiz sonuçlarında, sırasıyla modelin; şamandıra için aralığın çok düşük olması nedeniyle %80, balıkçı gemisi için %88, firkateyn için %93.45, destroyer için %95, uçak gemisi için %95.8, kara parçası, bilinmeyen cisim ve hücum bot sınıflarını ise %100 başarımlar ile tahmin edebildiği gözlemlenmiştir. Toplamda bu çalışma ile literatürde ilk defa radarlar için akıllı bir model sunulmuştur. Bulanık mantık algoritmasının kararsızlığı iyi modelleyebilmesi ve uzman tabanlı olması nedeniyle sınıflandırma başarımlarını yüksek bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Diğer taraftan, çalışma ile literatüre yeni bir veri seti öngörüsü de sunulmuştur. Böylece gelecek çalışmalara ışık tutacaktır.

Çalışmanın kısıtları, bazı sınıfların ölçüm aralıklarının kısa olmasının başarımlarını düşürmesi, literatürde daha önceden bir veri setinin bulunmaması ve seçilen radara göre aralıkların değişebilirliği olarak

öngörülmektedir. Gelecek çalışmalarda, model tasarımı tip 2 bulanık model ve diğer yapay zekâ modelleri ile gerçekleştirilmeye çalışılacaktır.

Çıkar Çatışması Beyanı (Conflict of Interest Statement)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Kaynaklar (References)

- [1] M. I. Skolnik, *Introduction to Radar System*, 2nd ed., New York: McGraw-Hill Book Co., 1980.
- [2] G. Ludeno, A. Orlandi, C. Lugni, C. Brandini, F. Soldovieri, F. Serafino, "X-band marine radar system for high-speed navigation purposes: A test case on a cruise ship," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 11, no. 1, pp. 244-248, 2013. doi:10.1109/LGRS.2013.2254464
- [3] G. Kaya, O. Erkaymaz, Z. Saraç, "Optimization of digital holographic setup by a fuzzy logic prediction system," *Expert Systems with Applications*, vol. 56, pp. 177-185, 2016. doi:10.1016/j.eswa.2016.03.019
- [4] L.A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Information and Control*, vol. 8, no.3, pp. 338-353, 1965. doi:10.1016/S0019-9958(65)90241-X
- [5] L. A. Zadeh, "Fuzzy algorithms," *Information and Control*, vol. 12, no. 2, pp. 94-102, 1998. doi:10.1016/S0019-9958(68)90211-8
- [6] C. Elmas, *Bulanık Mantık Denetleyiciler*, Ankara: Seçkin Yayınevi, 2003.
- [7] F. Beşer, D. Adıgüzel, Ö. Yıldırım, T. Yıldırım, "Air Defence Decision Support System Design Using Fuzzy Logic," *Akıllı Sistemler ve Uygulamaları Dergisi*, vol. 1, no. 2, pp. 135-139, 2018. doi:10.54856/jiswa.201812042
- [8] E. Mumammer, "Bulanık sistemler ile faz dizilimli radar parametrelerinin gerçek zamanlı ayarlanması," Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2019.
- [9] M. Coşkun, "Hava savunma sistemlerinde bulanık mantık tabanlı tehdit değerlendirme ve derecelendirme," Yüksek Lisans Tezi, Savunma Teknolojileri Ana Bilim Dalı, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2021.
- [10] N. Shaukat, P. Otero, "Underwater Vehicle Positioning by Fuzzy and Neural Adaptive Kalman Sensor Fusion," in Proc. of OCEANS 2021: San Diego-Porto, 20-23 Sept. 2021, San Diego, CA, USA [Online]. Available: IEEE Xplore, https://ieeexplore.ieee.org/document/9705963. [Accessed: Jan, 7, 2023].
- [11] W. Liu, Y. Liu, B. A. Gunawan, R. Bucknall, "Practical moving target detection in maritime environments using fuzzy multi-sensor data fusion," *International Journal of Fuzzy Systems*, vol. 23, no. 6, pp. 1860-1878, 2021. doi:10.1007/s40815-020-00963-1
- [12] Z. Shi, R. Zhen, J. Liu, "Fuzzy logic-based modeling method for regional multi-ship collision risk assessment considering impacts of ship crossing angle and navigational environment," *Ocean Engineering*, vol. 259, pp. 111847, 2022. doi:10.1016/j.oceaneng.2022.111847
- [13] M. Çınar, "Çok fonksiyonlu radarlar için yeni bir radar kaynak yönetimi yaklaşımı," Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2022.
- [14] F. Meng, K. Tian, "Interval type-2 fuzzy logic based radar task priority assignment method for detecting hypersonic-glide vehicles," *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, vol. 23, no. 3, pp. 488-501, 2022. doi:10.1631/FITEE.2000560
- [15] E. Mamdani, S. Assilian, "An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller," *International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 7, no. 1, pp. 1-13, 1975. doi:10.1016/S0020-7373(75)80002-2
- [16] M. Sugeno, *Industrial Applications of Fuzzy Control*, First Edition, New York: Elsevier Science Ltd., 1985.
- [17] D. R. L. Dufton, C. G. Collier, "Fuzzy logic filtering of radar reflectivity to remove non-meteorological echoes using dual polarization radar moments," *Atmospheric Measurement Techniques*, vol. 8, no. 10, pp. 3985-4000, 2015. Doi:10.5194/amt-8-3985-2015
- [18] L. A. Zadeh, K. Tanaka, K.S. Fu, M. Shimura, Ed., *Fuzzy Sets and Their Applications to Cognitive and Decision Processes*. Berkeley, California: Academic Press, 1975. (Editör)
- [19] D. Boyacı, M. Erdoğan, F. Yıldız, "Arazi Örtüsü Tespitinde Bulanık Mantık Sınıflandırma: Ankara Bölgesinde Örnek Uygulama," *Harita Dergisi*, vol. 81, no.153, pp. 34-41, 2015.

This is an open access article under the CC-BY license

