

# Yazılım Tabanlı Bilişsel Radar ile Mikro Doppler İmzasından Helikopter Tespiti ve Sınıflandırılması

Baran Akbıyık, Eralp Göğen<sup>2</sup> ve Alparslan Çağrı Yapıcı<sup>3\*</sup>

<sup>1,2,3</sup> Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü / Başkent Üniversitesi, Türkiye  
\*(cyapici@baskent.edu.tr)

**Özet** – Bu çalışmada helikoptere ait mikro doppler karakteristikleri kullanılarak 4 farklı helikopter için benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Benzetim çıktıları sonucunda Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı kullanılarak helikopter sınıflandırılması için öznelik çıkartımı sonucunda elde edilen pervane sayısı, pervane hızı, pervane boyu, ana gövde hızı ve radar kesit alanı kullanılarak eğitilmiştir. Eğitilen öğrenme algoritması C bant frekans ile modüle edilmiş sürekli dalga radarı kullanılarak gerçekleştirilip, sistemin başarısı test edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler** – Yazılım Tabanlı Radar; Mikro Doppler; Bilişsel Radar; Helikopter Sınıflandırma; FMCW Radar; Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı.

**Abstract** – In this study, micro doppler signature of 4 different helicopters are simulated. After feature extraction simulation outputs such as; number of blades, rotation of the rotor, blade length, main body velocity and radar cross section are used for training of Multi Layer Artificial Neural Network. After training, machine learning algorithm was implemented to C band frequency modulated continuous wave radar and performance of detection was tested.

**Keywords** – Software Defined Radar; Micro Doppler; Cognitive Radar; Helicopter Classification; FMCW Radar; Artificial Multilayer Neural Network.

## I. GİRİŞ

Askeri operasyonlar genellikle şehir merkezinden uzakta ve birçok hava, deniz ve kara araçlarıyla iç içe yapılıdır. Geleneksel Radar'lar bu ortamlarda hedef takibinde ve hedef tanımlamada zorlanırlar. Geleneksel Radar'lar farklı ve yoğun hedeflerin olduğu ortamlarda hedef takibi kaçırma, hedefi yanlış sınıflandırma ve yanlış hedef takibi gibi sorunlar yaşarlar [1]. Geleneksel Radar'ların çalışma prensibinin aksine, helikopter, motorsiklet, araba ve insan gibi hedefleri yansıyan radar işaretlerinde hedeflerden kaynaklı olan Mikro hareketlerden dolayı oluşan Mikro Doppler etkileri sayesinde tanımlayıp, sınıflandırabilir [2]. Hedeften yansıyan Radar işaretleri hedefe ait birçok özelliğin tespit edilebilmesini sağlar. Örneğin, hareketli hedefler, işaretin frekansının kaymasına neden olurlar. Bu kaymaya doppler etkisi denir. Doppler frekans kayması ile hedefin hızı tespit edilebilir. Eğer hedef periyodik bir şekilde dönme veya titreşim gerçekleştiriyorsa doppler frekansının yanında frekans kiplenimi oluşur. Bu frekans kiplenimi periyodik olarak zamanla değişir. Bu etkiye mikro doppler etkisi denir [3-7].

Mikro doppler etkileri kullanılarak, tank motorunun yarattığı titreşimler sayesinde tank tespiti [8], insan vücudunun yarattığı periyodik hareketler ile insan tespiti [9], pervanelerin periyodik olarak dönmesi sayesinde drone tespiti [10] ve helikopter tespiti [11] mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada, MATLAB'da V.Chen [1] tarafından hazırlanmış, ve benzetim doğruluğu onaylanmış olan [12] benzetim modeli kullanılarak, tek ve çift sayılı pervaneli helikopterler için farklı pervane boyları, pervane dönüş hızları,

radar ile pervane açılarına sahip askeri ve sivil helikopterler için benzetim çıktıları hazırlanacak ve bu çıktılar doğrultusunda Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı (MLP) algoritması kullanılarak farklı helikopter türlerini tespit edebilen makine öğrenmesi modeli hazırlanıp, başarısı test edilecektir. Oluşturulan bu model Yazılım Tabanlı Radyo (SDR) kullanılarak gerçek dünyada denenip benzetim sonuçları ile gerçek sonuçlar karşılaştırılacaktır.

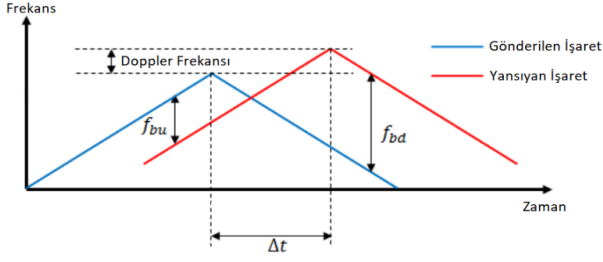
## II. RADAR SINIFLANDIRMA TEKNİKLERİ

### A. Frekans ile Modüle Edilmiş Sürekli Dalga Radar Analizi

Frekans ile modüle edilmiş Sürekli Dalga Radarı (FMCW), günümüzde yüksek çözünürlük, kısa mesafe ve düşük göndermeç çıkış gücü gereken uygulamalarda kullanılmaktadırlar [13]. FMCW Radar zamana bağlı frekans değişen işaret kullanırlar. Gönderilen ve yansıyan işaret arasındaki frekans farkından mesafe ve doppler frekans kaymasından hız ölçümü gerçekleştirirler. Şekil 1'de üçgen FMCW Radar işareti görülmektedir. Sürekli dalga radarlarında doppler frekansı tespiti için Şekil 1'de görülmekte olan üçgen dalga biçimi kullanılmaktadır. Doppler kayması,

$$fd = \frac{f_{bd} - f_{bu}}{2} \quad (1)$$

İfadesi kullanılarak elde edilir. Burada  $f_{bu}$  yukarı eğim frekans farkı ve  $f_{bd}$  aşağı eğim frekans farkını belirtmektedir.



Şekil 1 Üçgen FMCW Radar İşareti

### B. Helikopter Palleri için Mikro Doppler İmza Analizi

Helikopter pallerinin yarattığı Mikro Doppler etkiler her bir helikopter için özeldir. Bu sayede helikopterlere ait marka ve model gibi bilgiler Mikro Doppler etkilerden çıkartılabilir. Özellik indirgeme metodu kullanılarak yansıyan radar işaretinden helikoptere ait pervane uzunluğu,

$$L = \frac{c}{f} \cdot \frac{fd_{max}}{2\Omega} \quad (2)$$

ifadesi kullanılarak elde edilir. Burada  $f$  çalışma frekansını,  $c$  ışık hızını ve  $\Omega$  rotasyon oranını belirtmektedir. Rotasyon oranı ise

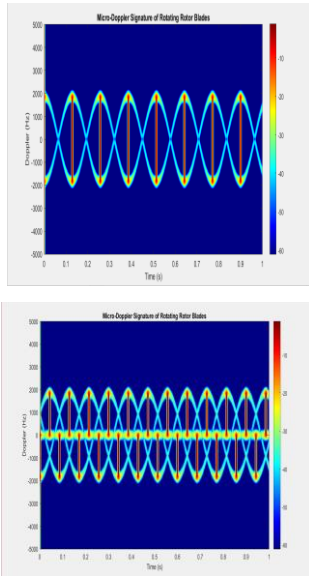
$$\Omega = \frac{2\pi}{TN} \quad (3)$$

şeklinde gösterilebilir. Burada  $T$  pervane dönme periyodunu,  $N$  ise pervane sayısını göstermektedir. Pervane sayısı

$$N = \frac{2\pi}{T\Omega} \quad (4)$$

şeklinde hesaplanabilir.

Her bir helikopter farklı Mikro Doppler karakteristiği sergilediği için pervane uzunluğu, rotasyon oranı ve pervane sayısı kullanılarak helikoptere ait tür ve özellikler elde edilebilir. Şekil 2'de tek ve çift pervaneli helikopterlerin Mikro Doppler imzalarında oluşturduğu fark gösterilmiştir.

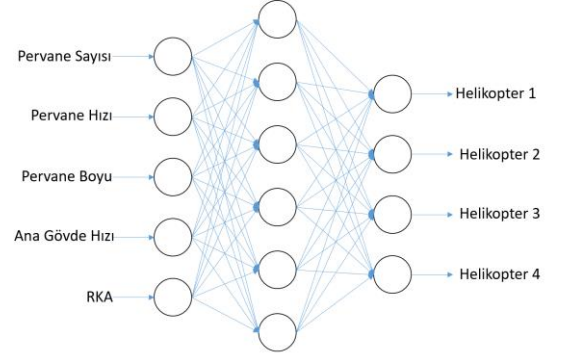


Şekil 2 a) Tek ve b) Çift Pervaneli Helikopterlere ait Mikro Doppler İmzaları

### C. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı ile Hedef Tanımlama

Yansıyan Radar işaretinden helikoptere ait Mikro Doppler işaretlerinden pervane sayısı, pervane uzunluğu, dönme oranı gibi veriler ham verilerden ayrıştırılarak özellik çıkartımı yapılmaktadır. Bu sayede oluşturulan makine öğrenme algoritmasının başarımı artırılması amaçlanmıştır. Mikro

Doppler etkilerinin yanında Radar Kesit Alanı ve ana Doppler hızı gibi veriler de giriş olarak yapay sinir ağına girdi olarak sağlanmıştır. Oluşturulan ağ 5 adet giriş katmanına ve 4 farklı çıkış katmanına sahiptir. 1 Ara katman ve 6 nöron kullanılmıştır. Hazırlanan çok katmanlı yapay sinir ağı Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. Hazırlanan Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı

### III. BENZETİM VE GERÇEKLEŞTİRME ÇALIŞMALARI

MATLAB ortamında hazırlanmış olan mikro doppler simülatörü kullanılarak farklı boyut ve özelliklerdeki helikopterler modellenmiş ve bu modeller kullanılarak makine öğrenme algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen makine öğrenme algoritması daha sonra bilişsel FMCW Radar prototipi ile gerçekleştirilip, hedef sınıflandırma başarımları ölçülmüştür.

#### A. Veri Setinin Oluşturulması

Hazırlanan Mikro Doppler simülatörü kullanılarak Şekil 4'de görülmekte olan 4 farklı helikopter modellenmiş ve bu modellere göre simüle edilen Mikro Doppler imzaları kullanılarak çok katmanlı yapay sinir ağı oluşturulup eğitilmiştir.



Şekil 4 a) EC-135 b) AS-350 c) Apache d) Bell222 model helikopterlerine ait benzetim modelleri

5.7 GHz merkez frekansı ve 50 MHz bant genişliği değerlerine göre  $0^\circ$  ile  $90^\circ$ ,  $1^\circ$  adımlar ile hedef ile anten arasındaki görüş açısı değiştirilerek ham veri seti oluşturulmuştur. Başarı oranı ve düzgün helikopter sınıflandırılması yapılabilmesi özellik indirgeme yöntemi kullanılarak helikopterlere ait ham verilerden pervane boyu, pervane dönüş hızı, pervane sayısı, ana gövde doppler hızı ve ana gövde radar kesit alanı çıkartılarak yapay sinir ağı eğitiminde kullanılacak olan veri seti hazırlanmıştır.

Oluşturulan veri seti ile 5 giriş, 1 ara katman ve 4 çıkışa sahip çok katmanlı yapay sinir ağı oluşturulup, eğitilmiştir. Ara katmanda bulunan nöron sayısı değiştirilerek başarı oranları incelenmiştir. Tablo I'de ara katman nöron sayısına göre başarı değişimleri görülmektedir.

TBLO I. ARA KATMAN NÖRON SAYISI VE BAŞARI TABLOSU

Ara Katman Nöron Sayısı	Başarı (%)
1	45
3	91
6	93
7	94
10	94.7

### B. Bilişsel FMCW Radar Prototipinin Oluşturulması

5.7 GHz merkez frekansında, 50 MHz bant genişliği ve 100 mili Watt çıkış gücü değerlerine sahip Şekil 5'de görülmekte olan FMCW Radar prototipi donanımı hazırlanmıştır. Daha sonra 5 giriş, 1 ara katman ve 4 çıkışa sahip çok katmanlı yapay sinir ağı 6 ara katman nöron sayısı ile donanıma gerçekleştirilerek bilişsel FMCW Radar özelliği kazandırılmıştır.



Şekil 5 Bilişsel FMCW Radar Prototipi

Hazırlanan Radar Şekil 6'da görülmekte olan Eurocopter EC-135 RC Model helikopter kullanılarak hedef tespit ve sınıflandırma oranı başarıyı elde edebilmek için farklı açılarda ve yüksekliklerde uçurularak testler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. Eurocopter EC-135 RC Model Helikopter

Gerçekleştirilen testler sonucunda farklı yükseklik değerleri, açı değerleri ve mesafelerde yapılan ölçümler ile radar %61 başarı ile helikopteri sınıflandırabilmiştir.

### IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada 4 farklı model helikoptere ait Mikro Doppler imzaları simülasyon ile üretilmiştir. Üretilen benzetim çıktıları ile öznelik çıkartımı gerçekleştirilerek çok katmanlı yapay sinir ağı oluşturulup test edilmiştir. Oluşturulan çok katmanlı yapay sinir ağı daha sonra 5.7 GHz frekansında çalışan FMCW Radar prototipi üzerinde gerçekleştirilip, model helikopter ile sistemin başarı oranı ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda %61 başarı ile farklı yükseklik, farklı mesafe, farklı açı ve farklı hız değerlerinde hedef tespit edilip, sınıflandırılabilmiştir. Elde edilen başarı benzetim çıktılarından %32 daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

İlerleyen çalışmalarda, simülasyon tabanlı sentetik veri yerine gerçek ölçüm sonuçları ile yapay sinir ağı eğitilerek başarı oranı artırılabilir.

### KAYNAKLAR

- [1] Victor C. Chen., *Micro Doppler Effect in Radar*, Artech House, Boston, 2011.
- [2] B. D. Bullard and P. C. Dowdy, "Pulse Doppler signature of a rotarywing aircraft," *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 6, pp. 28-30, May 1991.
- [3] C. E. Rotander and H. von Sydow, "Classification of Helicopters by the L/N-quotient," in *Proc. IEE Radar 97 (Conf. Publ. No. 449)*, Oct. 1997, pp. 629-633.
- [4] N. K. Shi and H. F. Williams, "Radar detection and classification of helicopters," *US Patent 5 689 268 A*, 1997.
- [5] Chen, V.C.: 'Analysis of radar micro-Doppler signature with time frequency transform'. *Proc. Tenth IEEE Workshop on Statistical Signal and Array Processing*, 2000, pp. 463-466
- [6] Kim Y., Ling H., "Human Activity Classification Based on MicroDoppler Signatures Using a SVM," *IEEE*, pp. 1328-1337, 2009.
- [7] Tahmouh D., Silvius J., "Modeled Gait Variations in Human MicroDoppler," *IRS*, pp. 1-4, 2010.
- [8] Thayaparan T., Abrol S., Riseborough E., Stankovic L., Lamothe D. And Duff G., "Analysis of Radar Micro-Doppler Signatures from Experimental Helicopter and Human Data", *IET Radar Sonar Navig.*, 2007, 1 (4), pp. 289-299.
- [9] Alemdaroğlu Ö. T., Candan Ç., Koç S., "The Radar Application of Micro Doppler Features from Human Motions", in *IEEE Radar Conference (RADARCON) 2015*, pp. 374 - 379.
- [10] J. J. M de Wit, R. I. A. Harmanny, and G. Premel-Cabic, "Micro-Doppler Analysis of Small UAVs," in *Radar Conference (EuRAD)*, 2012 European, oct. 2012, pp. 210 -213.

- [11] Akhtar S., Elshafei-Ahmet M., Ahmed S. M., "Detection Helicopters Using Neural Nets", IEEE Trans. Instrumentation and Measurement, Vol. 50, No. 3, June 2001.
- [12] Alemdaroğlu Ö. T., Ç. C. and Koç, S., "The Extraction of Micro-Doppler Features from Human Motions", 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2014, pp. 726 - 729.
- [13] I. V. Komarov, S. M. Smolskiy, "Fundamentals of Short Range FM Radar", Artech House Publishers, 2003