

## Düzgün Doğrusal Anten Dizilerinde Sinyal Geliş Açısı Kestiriminde KZFD tabanlı YSA Mimarisinin Kullanılması

Umut Özkaya \*

\*Konya Teknik Üniversitesi  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Konya  
[uozkaya@ktun.edu.tr](mailto:uozkaya@ktun.edu.tr)

**Özet:** Düzgün Doğrusal Anten Dizileri (DDAD) uygulamalarında alıcı antene gelen sinyallerin Geliş Açısı Kestirimi (GAK) hızlı bir şekilde yapılması gerekir. Literatürde yüksek hassasiyetle GAK'ı hesaplayan MFSIC, ESPRIT ve MUSIC gibi algoritmalar bulunmasına rağmen bu algoritmaların yanıt sürelerinde gecikmeler yaşanmaktadır. Gerçek zamanlı uygulamalar bu sorun önemli bir dezavantaj oluşturmaktadır. Bu problemin önlenmesinde Yapay Sinir Ağlarından (YSA) yararlanmak oldukça faydalı olabilir. Bu çalışmada YSA tabanlı bir teknik uygulanarak 10 adet izotropik anten elemanının oluşturduğu 2 varış sinyali için GAK gerçekleştirilmiştir. Ayrıca farklı makine öğrenmesi yöntemleri ile karşılaştırmalı metrik analizleri sunulmuştur. Eğitimi tamamlanmış YSA yapıları ile test verileri için oldukça düşük hata metrikleri elde edilmiştir.

**Abstract:** In Uniform Linear Antenna Arrays (ULAA) applications, Direction of Arrival (DoA) Estimation for receiver antenna should be implemented in a short time. Although there are algorithms such as MFSIC, ESPRIT and MUSIC that calculate DoA with high precision in the literature, there are delays in the response times of these algorithms. Real time applications pose a significant disadvantage to this problem. It can be very useful to benefit from Artificial Neural Networks (ANNs) in overcoming this problem. In this study, our proposed method was based on ANN-based technique, DoA was performed for 2 arrival signals created by 10 isotropic antenna elements. In addition, comparative metric analyzes with different machine learning methods are presented. Very low error metrics were obtained for test data with proposed ANN structures.

### 1. Giriş

Anten dizileri, değişken ışınma örüntüsü, yüksek kazanç, yönlülük, sabit ışınma ve sıfır yönlendirme gibi yeteneklere sahip olması nedeniyle dikkat çekmiştir. Bu özelliklerinden dolayı anten dizileri geniş bir uygulama alanına sahiptir. Radar, sonar, sismik sistemler, elektronik gözetim, tıbbi teşhis, tedavi, radyo astrolojisi gibi uygulamalarda akıllı anten olarak da adlandırılan anten dizilerini kullanır [1]. Anten dizilerinin en önemli özelliklerinden biri de ışınma örüntüsü şekillendirebilmesidir. Bir anten dizisinin radyasyon modeli, gerektiği şekilde uyarma fazı ve genliği değiştirilerek oluşturulabilir. Ayrıca, düşük taraftaki lob girişimleri oluşturma yeteneği, hücrel iletişim sisteminin performansını artırır [2].

Anten dizileri, alıcı anten veya verici anten olarak kullanım sırasında benzer yeteneklere sahip olsalar da, alıcı sırasında ekstra önemli bir özelliğe sahiptirler. Bir anten dizisi, kendilerine gelen sinyallerin yönlerini tespit edebilir. Uzamsal olarak ayrılmış sensörlerden aldıkları sinyalleri gözlemleyerek enerji yayan kaynakların yerleştirme probleminde Geliş Açısı Kestirimi (GAK) adı verilir [3-4]. GAK, sensör elemanları arasındaki faz ve genlik farklılıklarına dayanır. Literatürde birkaç yöntem bulunmaktadır. GAK algoritmaları, istatistiksel yöntemler, alt uzay spektral tabanlı ve spektral tabanlı yöntemler olarak üç gruba ayrılabilir. Birinci dereceden ileri tahmin yöntemleri, Bartlett, Maximum entropy ve Capon en yaygın spektral tabanlı algoritmalarıdır [5]. En popüler alt uzay spektral tabanlı yöntemler olarak Multiple Signal Classifying (MUSIC), Min-Norm ve Weighted Subspace Fitting (WSF). İstatistiksel yöntemler olarak ise Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques (ESPRIT), Root-MUSIC ve Root-WSF [6].

Bahsedilen algoritmalar kovaryans hesaplamasına ihtiyaç duyar. Özellikle alt uzay tabanlı ve istatistiksel yöntemler, Özdeğer ve Özvektör ayrıştırmasını kullanır. Tüm bu işlemler hesaplamalar sırasında önemli bir yükün oluşmasına neden olur. Bu gerçeğe bağlı olarak gerçek zamanlı uygulamada sistemin yanıtında gecikmeler oluşabilir. Dolayısıyla bu algoritmaların hızlı gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılması önemli sakıncalar oluşturabilir. Bu sorunun üstesinden gelmek için yapay sinir ağı (YSA) kullanılabilir. Bir YSA'nın eğitimi çok fazla kaynağa ve zamana ihtiyaç duysa da, eğitilmiş bir YSA sonuçları çok hızlı hesaplar. Bu nedenle YSA kullanımı özellikle gerçek zamanlı uygulamalarda çok faydalı olabilir. Bu çalışmada, GAK için bir YSA tasarlanmıştır, eğitilmiş ve test edilmiştir.

## 2. Materyal

Bu çalışmada, Düzgün Doğrusal Anten Dizileri (DDAD) akıllı anten olarak kullanılmıştır. Sabit mesafe  $d$  ile bir hatta ayrılan bir sensör setine DDAD denir. DDAD'deki sensörlerin sayısını sembolize etmek için genellikle  $N$  notasyonu kullanılır.

DDAD gelen düzlem dalgası sayısı (yani ortamdaki kaynak sayısı)  $M$  olarak kabul edilmiştir. Gürültü dahil alıcı anten çıkışları Denklem 1'de sunulmuştur.

$$X_n(k) = A(\gamma_m)S_m(k) + n_m(k) \quad (1)$$

Denklem 1'de  $k$  örnek numarasıdır (ayrık zaman değişkeni),  $A(\gamma_m)$  yönlendirme vektörüdür,  $S_m(k)$  sinyal matrisidir ve  $n_m(k)$  beyaz Gauss gürültü matrisidir.  $X_n(k)$ , sensör elemanlarının DDAD çıkışıdır. Bu çalışmada 10 izotropik elemandan oluşan DDAD üzerinde simülasyonlar yapılmıştır. Anten elemanları arasındaki mesafe yarım dalga boyu olarak kabul edilmiştir. DDAD anten elemanlarının çıkışları MATLAB yazılımı kullanılarak Denklem 1'e göre hesaplanmıştır.

MATLAB programı ile oluşturulan simülasyon verileri Yapay Sinir Ağında (YSA) eğitim ve test işlemleri için kullanılacaktır. DDAD'de 10 anten elemanına sahip olduğu için antenlere gelen maksimum 2 sinyal kaynağı olacağı kabul edilmektedir. -70 ile 70 derece arasındaki spektrum 1 derece adımlara bölünmüştür. Ortamdaki tek kaynak için sinyal kaynağının açısı 1 derecelik adımlarla -70'dan 70 dereceye değiştirildi. Tüm spektrumun taranması sırasında, önceden hesaplanan durumların tekrarlarından kaçınılmıştır. Her nokta için sinyal kaynaklarının açıları ve DDAD hesaplanan çıktıları kaydedilmiştir.

## 3. Yöntem

FD ile sinyal içerisindeki yalnızca spektral içerik elde edilir. Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (KZFD) sinyali zaman ortamında küçük pencereler yardımıyla inceler. Bu işlemler Denklem 2 kullanılarak gerçekleştirilir.

$$X[t, f] = \sum_{-\infty}^{\infty} x[r] \cdot \omega[t - \tau] \cdot e^{-j\pi\tau} \quad (2)$$

FD yalnızca frekans fonksiyonuna sahipken KZFD hem frekans hem de zaman fonksiyonun içerir. KZFD işlemi sonrasında elde edilen sonuç matris formunda olup iki boyutludur. FD işleminde çözünürlük problem frekans domaininde oluşmaz. KZFD işleminde ise kullanılan pencerelerin sonlu büyüklükte olması ve sinyali parça parça incelemesi nedeniyle frekans domaininde çözünürlük değişir. KZFD kullanılacak pencerenin küçük seçilmesi zaman domaininde çözünürlüğü iyileştirmektedir. Pencerenin büyük seçilmesi durumunda ise frekans ortamında çözünürlüğün artmasına rağmen zaman ortamında çözünürlük azalır.

Yapay Sinir Ağları (YSA), insan beyninde bulunan biyolojik sinir ağlarının öğrenme modelini taklit etmeye çalışan bir makine öğrenmesi algoritmasıdır [6]. İnsanlarda olduğu gibi sinir ağları ile makinelerin öğrenmesi ve karar verme yetkinliği kazanması sağlanmaktadır. Bu modelin en basit örneği bir nöron ve bir katmandan oluşur ve algılayıcı olarak adlandırılır. Giriş katmanındaki düğüm sayısı, giriş veri kümesindeki özelliklerin sayısına eşittir. Her girdi bir ağırlık katsayısıyla çarpılır ve sonuçlar toplanarak bias değeri eklenir. Elde edilen toplam bilgisi aktivasyon işleminden geçirilir. Aktivasyon işlemi, insan nöronlarında bulunan çekirdekte olduğu gibi gelen bilgileri işleyerek çıktı üretme işlemi görür. Bu çıktılar sonraki nöronun dentritleri ile alınır ve aynı işlemler sonucunda üretilen çıktılar diğer nöron ve katmanlara aktarılır. Bu şekilde tüm nöronlar boyunca bilgi aktarımı devam ederek sonuçta tahmin sonucu elde edilir.

Önerilen yöntem kapsamında DDAD'ye gelen sinyallere ilk olarak KZFD uygulanarak 2 boyutlu bir matris gösterimi elde edilmiştir. Bu dönüşüm sayesinde elde edilen matris ile sinyal hakkında daha fazla bilgi gösterimi sağlanmıştır. KZFD ile elde edilen matristen yüksek derecede istatistiksel özellikler elde edilmiştir. Toplamda 28 adet istatistiksel dönüşüm matrisinden çıkarılmıştır. Bu özellikler tasarlanmış olan YSA mimarisine giriş olarak verilmiştir. YSA'nın çıkışı ise 2 adet sinyal kaynağından gelen sinyalleri tahmin etmek üzere tasarlanmıştır. Farklı gizli katman sayısına sahip YSA mimarileri eğitilerek en optimum ağ mimarisi elde etmek amaçlanmıştır.

## 4. Elde Edilen Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, 10 sensörlü bir DDAD'de GAK için KZFD tabanlı bir YSA mimarisi kullanılmıştır. Tasarlanan veri setinde toplamda 1000 adet veri bulunmaktadır. Veri setinin %75'i eğitim amaçlı kullanılmış olup %25'i ise test verisi olarak tahsis edilmiştir. Gizli katmandaki çeşitli nöron sayıları için tahmin hata değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen tahmin değerlerinin değerlendirilmesi için dört farklı hata metriği kullanılmıştır. Bu metrikler sırasıyla Ortalama Mutlak Hata (OMH), Ortalama Karesel Hata (OKH) ve Kök Ortalama Karesel Hatanın Karakökü

(OKHK) ve Ortalama Mutlak Yüzde Hata (OMYH) şeklindedir. Denklem 3-6 arasında metriklerin formülleri yer almaktadır. Y ve Y' sırasıyla gerçek ve tahmin değerlerini göstermektedir.

$$OMH = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Y - Y'| \quad (3)$$

$$OKH = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y - Y')^2 \quad (4)$$

$$OKHK = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y - Y')^2} \quad (5)$$

$$OMYH = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|Y - Y'|}{Y} \times 100 \quad (6)$$

Tablo I'de karşılaştırmalı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Bu analizde diğer makine öğrenmesi yöntemleri ve önerilen yöntem ile elde edilmiş hata metrik sonuçları yer almaktadır. Diğer makine öğrenmesi yöntemleri incelendiğinde Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD), Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) ve Ayrık Kosinüs Dönüşümü (AKD) teknikleri uygulanıp Yüksek Dereceli İstatistiksel Özellikler (YDİÖ) çıkarılarak YSA ile sinyal geliş açıları tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Tablo I. Karşılaştırmalı Analiz

Yöntemler	Hata Metrikleri			
	OMH	OKH	OKHK	OMYH
YDİÖ+YSA	10.1459/10.1227	147.3545/159.9100	12.1390/12.6456	26.2379/26.0921
HFD+YDİÖ+YSA	9.1522/9.9362	136.1780/165.9177	11.6695/12.8809	24.4253/28.3799
ADD+YDİÖ+YSA	4.1460/3.9619	64.5973/59.9306	8.0372/7.7415	14.8614/32.0521
AKD+YDİÖ+YSA	5.5733/6.1264	50.9465/67.0817	7.1377/8.1903	16.5338/19.5100
Önerilen Yöntem	<b>0.0742/0.0979</b>	<b>0.0161/0.0564</b>	<b>0.1269/0.2374</b>	<b>0.2459/0.4817</b>

Tablo I'de yer alan karşılaştırmalı analizde önerilen yöntem hata metrikleri göz önüne alındığında oldukça üstün bir performans göstermiştir. İki sinyal geliş açısı için ayrı ayrı verilen metrik değerleri önerilen yöntem için incelendiğinde 0.0742/0.0979 OMH, 0.0161/0.0564 OKH, 0.1269/0.2374 OKHK ve 0.2459/0.4817 OMYH değerleri elde edilmiştir. En düşük performansı ise herhangi bir dönüşü tekniği uygulanmadan YDİÖ çıkarılarak YSA tarafından tahminleme ile elde edilmiştir. Bu mimarinin metrik performansı incelendiğinde 10.1459/10.1227 OMH, 147.3545/159.9100 OKH, 12.1390/12.6456 OKHK ve 26.2379/26.0921 OMYH şeklinde olduğu görülmektedir. Tabloda önerilen mimarilerde Gizli Katman Sayısı (GKS) ve İterasyon Sayısı (İS) değiştirilerek en iyi hata metrik değerleri elde edilmeye çalışılmıştır. Öğrenme oranı 0.9 ve momentiyum sabiti 0.7 olarak sabit tutulmuştur.

## 5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, DDAD için KZFD tabanlı bir YSA mimarisi kullanılarak bir GAK yapılmıştır. Yapay sinir ağı girişi için, gelen sinyallere KZFD uygulanarak iki boyutlu veriler elde edilmiştir. Sonrasında 28 adet YDİÖ çıkartılarak YSA mimarilerine giriş olarak verilmiştir. YSA çıkışları 1 derece çözünürlüğe sahiptir. Önerilen yöntem tasarımında 10 GKS ve 1000 İS ile 0.0742/0.0979 OMH, 0.0161/0.0564 OKH, 0.1269/0.2374 OKHK ve 0.2459/0.4817 OMYH metrik değerleri elde edilmiştir. İleri çalışmalar için bu önerilen mimari baz alınarak daha iyi regresyon yöntemleri kullanılabilir. Ayrıca veri sayısı artırılarak derin öğrenme mimarileri denenebilir.

## Kaynaklar

- [1]. Krishnaveni V., Kesavamurthy T., ve Aparna B., "Beamforming for Direction-of-Arrival (DOA) Estimation-A Survey", International Journal of Computer Applications, cilt. 11, no. 61, s.4-11, 2013.
- [2]. Godara L. C., Handbook of Antennas in Wireless Communications, CRC Press, Inc., 2001.
- [3]. Godara L. C., Smart antennas / Lal Chand Godara, Boca Raton, Fla: CRC Press, 2004.
- [4]. Khmou Y., Safi S. ve Frikel M., "Comparative study between several direction of arrival estimation methods", Journal of Telecommunications and Information Technology, cilt 5, no. 1, s. 41-48, 2014.
- [5]. Krim H. ve Viberg M., "Two decades of array signal processing research: the parametric approach", IEEE Signal Processing Magazine, cilt. 13, no. 4, s. 67-94, 1996.
- [6]. Unlersen M. F. ve Yaldiz E., "Direction of Arrival Estimation in Linear Arrays by a Novel Hybrid Algorithm", International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers, cilt. 4, no. 2, s. 45- 49, 2016.