

Yansıtıcı Dizi Antenlerde Geometri ve Taban Özelliklerinin Optimizasyonu için Yansıtma Karakteristiğinin Çok-Katmanlı Algılayıcı Yapay Sinir Ağı ile Modellenmesi

Selahattin NESİL, Filiz GÜNEŞ* ve Salih DEMİREL*
Fatih Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
İstanbul
snesil@fatih.edu.tr

*Yıldız Teknik Üniversitesi
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
İstanbul
gunes@yildiz.edu.tr, salihd@yildiz.edu.tr

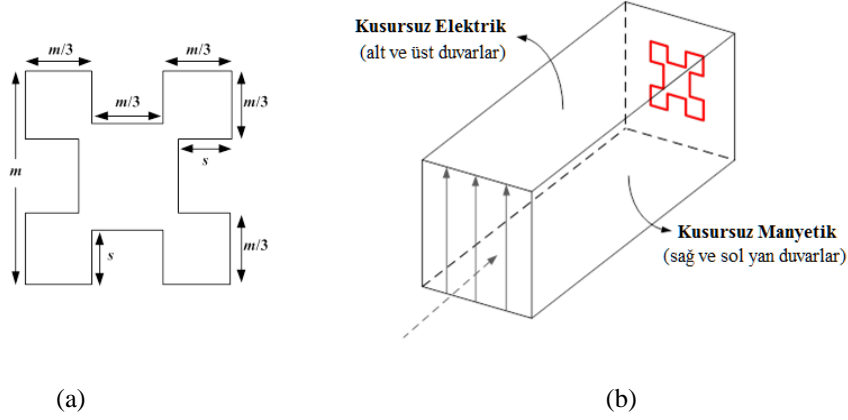
Özet: Bu çalışmada bir mikroşerit yansıtıcı dizi antenin birim hücre elemanının yansıtma fazı karakteristiği, X-bandı frekans aralığında yansıtıcı eleman ve tabaka özelliklerinin optimizasyonu için bir Çok Katmanlı Algılayıcı Yapay Sinir Ağı ile modellenmiştir. İlk olarak bir standart X-band dalga kılavuzu içine yerleştirilmiş birim hücrenin yansıtıcı elemanının geometrisi ve dielektrik tabaka özellikleri çeşitlendirilerek 3-boyutlu Tam Dalga Elektromanyetik simülasyonu (CST) ile benzetimi yapıp eğitim ve test verisi elde edilmiştir. Daha sonra bu eğitim verisine Çok Katmanlı Algılayıcı metodu uygulanarak bir yapay sinir ağı modeli oluşturulmuştur. Ağ çıkışı ile benzetimlerden elde edilen test verisi karşılaştırıldığında oluşturulan modelin çok iyi kestirimler yapabildiği gözlemlenmiştir.

1. Giriş

Yansıtıcı Dizi Anten, yüksek anten kazancı elde etmek için tercih edilen parabolik antenler ve düzlemsel dizi antenlerin dezavantajlarını gidermeye yönelik yapılan araştırmalar sonucu ortaya çıkmış bir kavramdır. Literatüre ilk olarak 1963 yılında Berry, Malech ve Kennedy isimli bilim adamları tarafından sunulmuştur. Günümüze kadar yürütülen çalışmalar, yansıtıcı dizi antenlerin temel olarak diğer bilim alanlarındaki teknolojik gelişmelerin ışığında üç değişik ana yaklaşımda kronolojik bir değişim ve gelişim süreci geçirdiğini göstermektedir. İlk yaklaşım olarak Berry ve arkadaşları, kısa devre sonlandırılmalı (short-ended) elemanlardan oluşan değişken uzunluklarda dalga kılavuzları kullanarak, uzak alanda eş faz oluşturacak şekilde geri yansıyan ışın demetleri elde edilebileceğini ispatlamışlardır [1]. 2000'li yılların başları ile birlikte yansıtıcı dizi antenlerdeki gelişmeler hızlanmaya başlamıştır. Bazı anten performansını artırmaya yönelik çalışmalar ve yeni teknikler uygulanmıştır. Yansıtıcı dizi elemanının optimizasyonu için Genetik Algoritmalarının (Genetic Algorithm (GA)) kullanılması bunlardan birisidir [2] Bu sayede antenin verimliliği genel olarak artırılabilir. Bir yansıtıcı dizi antenin en kritik bileşeni yansıtıcı elemandır. Bu eleman birkaç değişik parametrelere bağlı olarak çeşitlilik gösterebilir. Bu parametreler yansıtıcı yüzeyin elektrik geçirgenliği, yüzeyin kalınlığı, eleman boyutu, gelme açısı, ana huzmenin yönü, band genişliği gibi özelliklerdir. Bütün bu parametreler Yapay Sinir Ağları ile modellenerek anten kazancında ve yan lob seviyelerinin düşürülmesinde (side lobe level) optimizasyon sağlanabilmektedir. Bu çalışmamızın da temel amacı, mikroşerit yansıtıcı dizi antenlerin tasarım ve analizlerinin “Yapay Zekâ” metoduna dayalı özgün, modern algoritmalar ile hızlı ve doğru bir şekilde yapılabildiğini göstermektir.

2. Birim Hücre Eleman Tasarımı

Yansıtıcı dizi anten tasarımında en önemli ve kritik nokta yansıtıcı elemanın seçimidir. Bir yansıtıcı dizi antenin uzak alanda eş faz düzlemi oluşturabilmesi için her bir elemanına konumu dolayısıyla faz gecikmesi uygulanmalıdır. Taban üzerindeki konumuna bağlı gerekli faz gecikmesi elemanın boyutu değiştirilerek sağlanabilmektedir. Bu yüzden seçilecek elemanın maksimum 360° faz aralığını karşılaması beklenmektedir. Bu gereksinimler göz önünde bulundurularak bu çalışmamızda yansıtıcı eleman olarak minkowski şekli yama anten kullanılmıştır. Minkowski şeklinin temel geometrik yapısı Şekil 1(a)'da gösterilmiştir. Minkowski elemanın geometrik boyutları arasındaki ilişki (1)'de verilmiştir.



Şekil 1. (a) Minkowski Yansıtıcı Dizi Anten Elemanı Geometrisi. (b) Standart bir X-Band dalga kılavuzu içerisinde birim hücre elemanının yerleştirilmesi ve sınır koşulları belirlenerek TEM düzlem dalga oluşturulması.

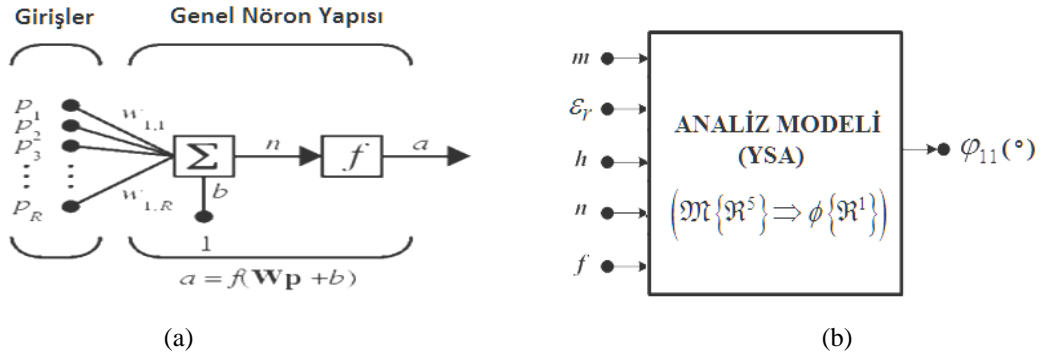
$$n = \frac{s}{m/3}, \quad 0 \leq n \leq 1 \quad (1)$$

Burada, m ; minkowski elemanın kenar boyutunu, s ; minkowski şeklindeki girintileri, n ; eleman boyutu ile girinti arasındaki bağıntıyı sembolize etmektedir. Standart bir X-Band dalga kılavuzu referans alınarak tek bir Minkowski yama anteni Şekil 1(b)'de gösterildiği gibi bir dalga kılavuzu içine yerleştirilmiştir [3]. Birim hücre tasarımı için 11 GHz rezonans frekansında Minkowski elemanının kenar boyutu 5.41 mm olarak belirlenmiştir. Dalga kılavuzu içine yerleştirilmiş minkowski yama anten geometrisinin (m , s , n) ve tabaka özelliklerinin (h , ϵ_r) farklı değerleri için tam dalga elektromanyetik simülatörü CST Microwave Studio ile simülasyonlar yapılmıştır. Eleman geometrisi ve taban özelliklerine karşılık gelen yansıtma fazı simülasyon değerlerinden bir veri kümesi oluşturulmuştur.

3. Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) YSA Modelinin Uygulanması

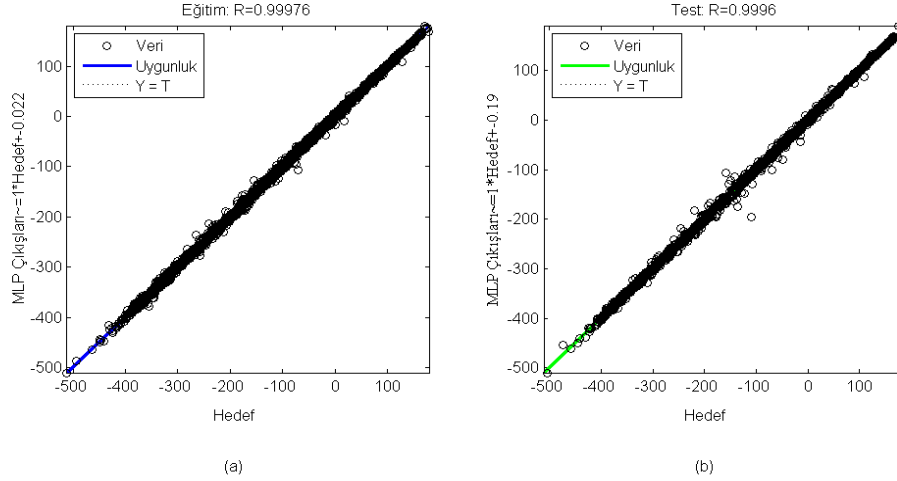
XOR problemini çözmek için yapılan çalışmalar sonucu çok katmanlı algılayıcı modeli geliştirilmiştir. Bu model "Delta Öğrenme Kuralı" denilen bir öğrenme yöntemini kullanmaktadır. Temel amacı ağın beklenen çıktısı ile ürettiği çıktı arasındaki hatayı aza indirmektir. Girdi Katmanı Şekil. 2(a)'da gösterildiği gibi dış dünyadan gelen girdileri olarak ara katmana gönderir. Ara katmanlar girdi katmanından gelen bilgileri işleyerek bir sonraki katmana gönderir. Çıkış Katmanı ara katmandan gelen bilgileri işleyerek ağa girdi katmanından verilen girdilere karşılık ağın ürettiği çıkışları belirleyerek dış dünyaya gönderir [4].

Daha önce birim hücre uygulaması ile simülasyonlardan elde edilen veri kümesinin bir kısmı eğitim verisi olarak seçilmiş, verinin geri kalan kısmı da test için kullanılmıştır. Tüm geometrik parametreler ve frekans verileri giriş, yansıma fazı ise çıkış olarak seçilmiştir. Şekil 2(b)'de



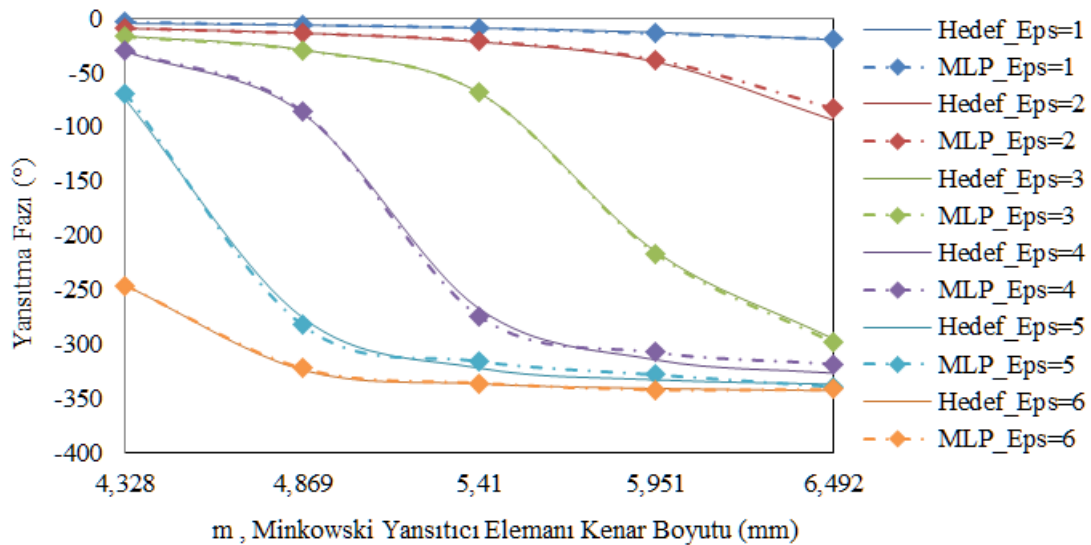
Şekil 2. (a) Tipik bir Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) Yapay Sinir Ağı Yapısı (b) Minkowski reflectarray anteni için MLP YSA yapısı ile oluşturulmuş analiz modeli $(\mathcal{M}\{\mathcal{R}^5\} \Rightarrow \phi\{\mathcal{R}^1\})$.

Analiz modelimizde MLP yapısını iki gizli katman ve bir aktivasyon fonksiyonu oluşturmaktadır. Gizli katmanların her ikisi de hiperbolik tanjant fonksiyonu olarak seçilmiştir. Her bir gizli katmanda 10 adet nöron kullanılmıştır. Gizli katmanlardan elde edilen toplamalar Levenberg Marquart aktivasyon fonksiyonu ile çıkışa aktarılmıştır. Ortalama karesel hata hesaba katılarak giriş ve çıkış arasındaki ilişki gözlemlenmiştir. Hedef olarak istenen düşük hata oranına ulaşana kadar ağ eğitilmiş ve istenilen hata oranına ulaşılmıştır. Eğitim için $9,9564 \times 10^{-5}$ ve test için de $1,7264 \times 10^{-4}$ seviyelerinde çok düşük karesel hata elde edilmiştir. Eğitim ve test için regresyon grafikleri aşağıda sırasıyla Şekil 3(a) ve Şekil (b) de verilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi hedefler ile ağ çıkışları hem eğitim hem de test verileri için çakışmıştır.

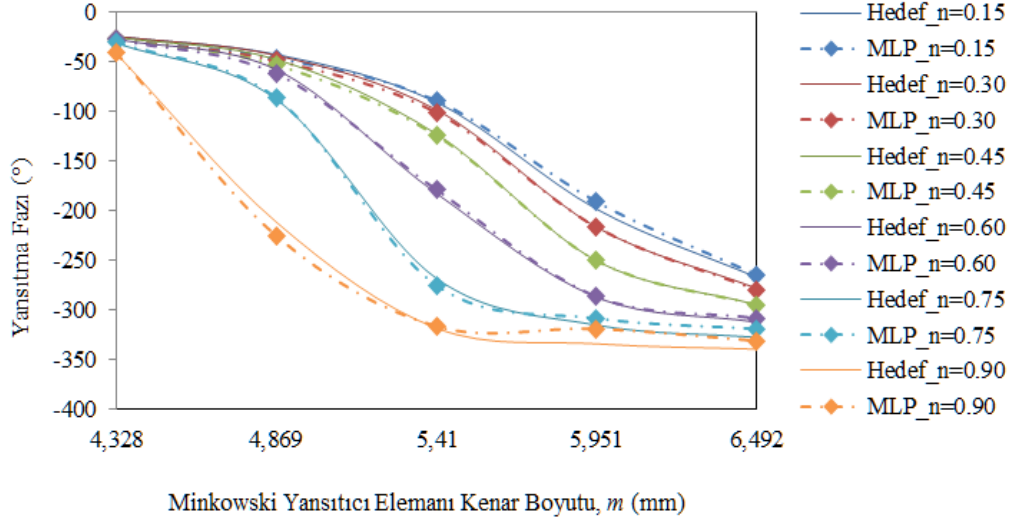


Şekil 3. Regresyon grafikleri (a) Eğitim ve (b) Test sonuçları için

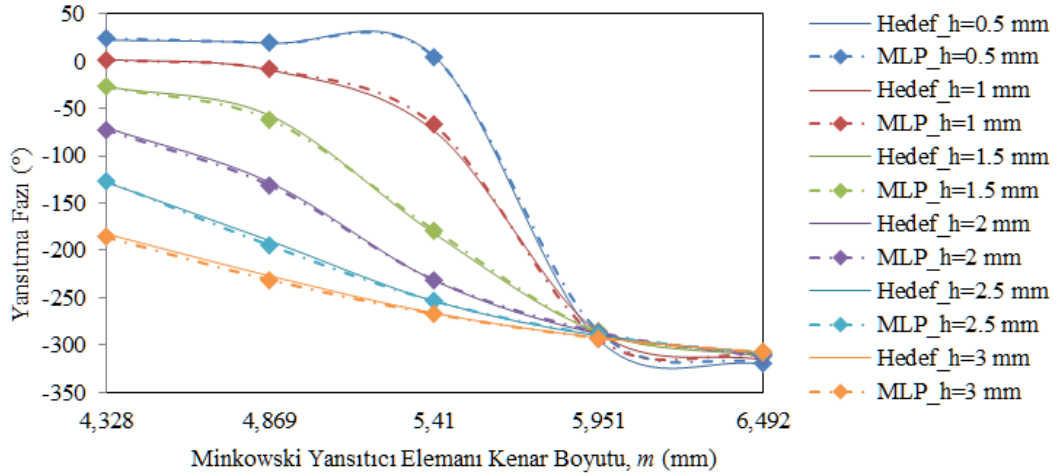
Simülasyonlardan ve ağ çıkışlarından elde edilen yansıtma fazı değerlerinin bazı değişik parametrelere karşılık gelen karşılaştırmaları aşağıdaki şekillerle gösterilmiştir. Şekil 4'te $h=1,5$, $n=0,75$, $f=11$ GHz sabit değerleri için farklı dielektrik sabitlerinde eleman boyut değişimine göre faz değişimi gözlemlenmektedir. Şekil 5'te $\epsilon_r=4$, $h=1,5$, $f=11$ GHz sabit değerleri için farklı n (girinti bağıntısı) değerlerinde eleman boyut değişimine göre faz değişimi görülmektedir. Şekil 6'da ise $\epsilon_r=4$, $n=0,6$, $f=11$ GHz sabit değerleri için, farklı h (taban kalınlığı) değerlerinde eleman boyut değişimine göre faz değişimi verilmiştir. Tüm grafiklerde düz çizgiler hedef verileri, kesikli ve işaretli çizgilerde YSA çıkışlarını göstermektedir. Şekiller incelendiğinde gözlenecektir ki bütün verilerde hedeflerin ve ağ çıkışlarının birbirine çok yakın değerler olduğu görülmektedir. Buradan oluşturulan ağ modelinin kısa sürelerde iyi tahminler yapabildiği ispatlanmaktadır.



Şekil 4. $h=1,5$, $n=0,75$, $f=11$ GHz sabit değerleri için, yansıtıcı tabanın farklı elektriksel geçirgenlik değerlerinde eleman boyutunun değişimine göre yansıtma fazı grafikleri.



Şekil 5. $\epsilon_r=4$, $h=1,5$, $f=11$ GHz sabit değerleri için, farklı n (girinti bağıntısı) değerlerinde eleman boyutunun değişimine göre yansıtma fazı grafikleri.



Şekil 6. $\epsilon_r=4$, $n=0,6$, $f=11$ GHz sabit değerleri için, farklı h (taban kalınlığı) değerlerinde eleman boyutunun değişimine göre yansıtma fazı grafikleri.

4. Sonuç

Bu çalışmada ilk olarak bir minkowski elemanlı bir yansıtıcı dizi anten için, birim hücre uygulaması ile elemanın yansıtma fazı karakteristiği, eleman geometrisi ve kullanılan taban özellikleri 3-boyut elektromanyetik simülasyonlar ile analiz edilmiştir. Simülasyonlardan elde edilen verilerin bir kısmı Çok katmanlı Algılayıcı metodu ile eğitilerek bir YSA modeli oluşturulmuştur. YSA çıktıları ile simülasyon sonuçlarını karşılaştırdığımızda ağ modelin kısa sürede çok iyi kestirimler yapabildiği gözlemlenmiştir.

Kaynaklar

- [1]. Huang J., Encinar J.A., Reflectarray Antennas, Wiley-IEEE Press, ISBN: 978-0-470-08491-4, 2007.
- [2]. Zich R. E., Mussetta M., Tovaglieri M., Pirinoli P., Orefice M., Genetic Optimization of microstrip reflectarrays, " IEEE AP - S/URSI symposium, San Antonio,Texas, 128–131,2002.
- [3].Zubir, F., "Design and Analysis Of Microstrip Reflectarray Antenna with Minkowski Shape Radiating Element", Progress In Electromagnetics Research B, 24, 317-331, 2010.
- [4].Caputo D., Pirisi A., Mussetta M., Freni A., Pirinoli P., Zich R.E., Neural Network Characterization of Microstrip Patches for Reflectarray Optimization, Proceedings of the European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP, 2520-2522, 2009.