Sızıntı Dalga Anten Uygulamaları İçin Yapay Sinir Ağı Temelli Birim Hücre Modellemesi

Unit Cell Modelling Based on Artifical Neural Network For Leaky Wave Antenna Application

Semih BAŞ[1], Hamid TORPİ[1], Filiz GÜNEŞ[1], Mehmet Ali BELEN[3], Peyman MAHOUTİ[2]

[1] Elektrik Elektronik Fakültesi
Yıldız Teknik Üniversitesi
semih.bas@hotmail.com, torpi@yildiz.edu.tr, gunes@yildiz.edu.tr

[2]Uygulamalı Bilimler Fakültesi
Yıldız Teknik Üniversitesi
pmahouti@yildiz.edu.tr

[3]Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi
İskenderun Teknik Üniversitesi
mali.belen@iste.edu.tr

Özet

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile farklı özelliklere sahip anten tiplerine olan ihtiyaç arttı. Sızıntı dalga anteni çalışma frekansından bağımsız olarak yüksek yönelmenin tercih edildiği uygulamalarda, kolay üretimi ve düşük maliyet nedeniyle son zamanlarda ön plana çıkan anten yapılarından biridir. Ancak belirtilen anten yapısının tasarımı, bu anteni oluşturan farklı birim hücrelerin her birinin parametrelerinin uygun şekilde seçimi ile başarılmaktadır. Bu durum, çok boyutlu bir optimizasyon problemi olarak ele alınması gereken bir problemdir. Optimizasyon sürecinin 3 boyutlu (3B) elektromanyetik benzetim araçların kullanılarak yapılması, uzun süren hesaplamaları nedeni ile son derece verimsiz bir işlem olacaktır. Optimizasyon esnasında harcanan süreyi azaltma yöntemlerinden biri, yapay sinir ağı tabanlı eş değer bir model geliştirmektir. Bu sayede, geliştirilen yapay sinir ağı modeli ile gerçekleştirilen optimizasyon süreci, son derece hızlı ve doğruluğu yüksek sonuçlar vermektedir. Bu çalışmada örnek bir sızıntı dalga antenin yapay sinir ağı modelleri ile geliştirilmesi incelenmiştir.

Abstract

Today, with the development of technology, the need for antenna types with different characteristics has increased. Leaky-wave antenna is one of the antenna structures that has come to the front recently due to its easy production and low cost in applications where high directivity is preferred regardless of operating frequency. However design of this antenna structure is achieved by appropriate selection of the variable parameters of each of the many different unit cells. This is a problem that should be treated as a multidimensional optimization problem. Using 3-dimensional (3D) EM simulation tools in this optimization process will be an extremely inefficient process due to the long calculation times of these tools. One of the methods to solve this problem is to develop an equivalent model based on artificial neural networks. In this way, extremely fast and highly accurate results are obtained by using the artificial neural network model in the optimization process. In this study, the development of a sample leak wave antenna with artificial neural network models is investigated.

1. Giriş

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile farklı özelliklere sahip anten tiplerine olan ihtiyaç arttı. Özellikle çalışma frekansından bağımsız olarak yüksek yönelmenin tercih edildiği uygulamalarda sızıntı dalga anteni, kolay üretilmesi ve üretim maliyetinin düşük olması nedeniyle son zamanlarda ön plana çıktı. Sızıntı dalga anteninde, yayılım mekanizmasının mikroşerit hatlar ile birlikte gerçeklenebilmesi, üretimini kolaylaştıran etmenlerden biridir. Sızıntı dalga anteninde dalganın yayılma mekanizması yüklü iletim hattından enerjinin uzaya yavaş yavaş yayılmasına dayanır. Bu yönü ile sızıntı dalga anteni, gezen dalga temelli bir anten tipidir [1-4].

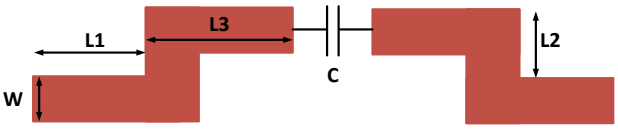
Sızıntı dalga anteninin tasarımı, mikroşerit hatlar temelli birim hücre tekrarı ile elde edilen dizi anten temeline dayanır [5]. Mikroşerit hatlar, dizi antenlerin ışınım desenleri, besleme sinyalinin frekansına oldukça bağımlıdır [6]. En iyi ışınım desenini bulmak, mevcut benzetim programları ile birlikte hem çok zaman alan hem de çok fazla bilgisayar kaynağı tüketen bir eylemdir [7]. Bu problemin giderilmesi için literatürde sıklık ile kullanılan yöntemlerin başında yapay zeka tabanlı modelleme, tasarım optimizasyon süreçleri gelmektedir [7-9]. Mikrodalga devre ve anten modellemesinde birçok farklı yapay zeka yöntemi kullanılsa da bu yöntemlerin en yaygın kullanılanı yapay sinir ağlarıdır [8-9]. Yapay sinir ağları, temel olarak insan sinir hücresini taklit ederek, giriş ve çıkış arasındaki doğrusal ve doğrusal olmayan ilişkiyi ile kolayca tanımlar.

Mikrodalga devre uygulamalarında yapay sinir ağlarının kullanımı, belirli frekanslar için yapılan ölçümler ya da analizler sonucu elde edilen saçılma parametreleri ile ölçüm yapılmayan diğer frekanslardaki saçılma parametrelerini tahmin etmek şeklindedir.

Şekil 1'de bir sızıntı dalga anteninin birim hücresinin 3B simülatör programı ile tasarlanarak bu tasarımdan yapay sinir ağı modellerinin eğitimi için veri üretimi yapılmıştır. Elde edilen verilen ile çeşitli modeller geliştirilerek en ideal model mimarisinin elde dilmesi hedeflenmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde örnek sızıntı antenin tasarım ve değişkenleri sunulacaktır. Bölüm 3 de ise yapay sinir ağı tabanlı modelleme analizleri yapılmıştır. Son olarak elde dilen sonuçlar özetlenerek bölüm 4 de sunulmuştur.

2. Sızıntı Dalga Anten Tasarımı

Çizelge 1'de parametre değişimlerinin hangi aralıklarda alındığı gösterilmiştir. L1, L2, L3 ve W, Şekil 1'de gösterilen fiziksel uzunlukları ifade etmektedir. Söz konusu parametrik benzetimlerde, Çizelge 1'de görüldüğü gibi, değişimler kapasitör için 1 pF, uzunluklar için ise başlangıç değerlerine göre 1mm aralıklarla yapılmıştır. Çalışmaya konu olan anten parametreleri taban malzemesi yüksekliği 1.52mm, bakır kalınlığı 35µm ve $\in_r$ =3 F/m olan Arlon taban malzemesi üzerine tasarlanmıştır. Uygun bir karşılaştırma yapabilmek için, bir değişken değiştirildiğinde, diğer değişken değerleri sabit tutularak, farklı kombinasyonlar için 3B benzetim programında benzetimler yapılmış ve belirtilen kombinasyonlar ve S_{11} parametresi Çizelge 2'de gösterilmiştir. Sistem karşılıklı(reciprocal) olduğundan analiz sadece S_{11} ve S_{21} için yapılmıştır. S_{22} ve S_{12} değerleri sırasıyla S_{11} ve S_{21} değerleri ile aynıdır. Ayrıca sistem 8-12 GHz aralığındaki cevabı için analiz edilmiştir.



Şekil 1: Birim Hücre Tasarımı

Çizelge 1: Değişken Listesi

Değişken	Tanım aralığı	Adım büyüklüğü	Örnek Sayısı
C (pF)	1-5	1	5
L1 (mm)	1-10	1	10
L2 (mm)	1-15	1	15
L3 (mm)	1-5	1	5
W (mm)	1.2-5.2	1	5
F (GHz)	8-12	0.2	42
Toplam Örnek Sayısı			314854

Çizelge 2 : Parametrik Analiz

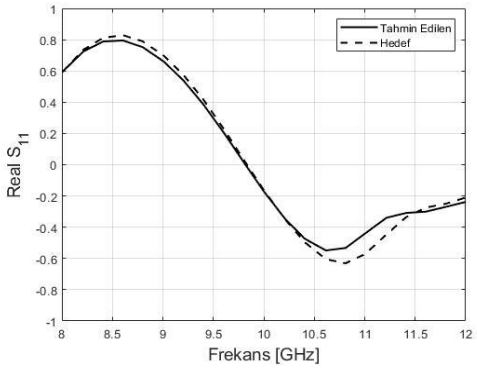
C	L1	L2	L3	W	Frekans [GHz]	Re {S11}	Im {S11}
1	1	1	1	1.2	8	-0.0021	-0.2732
3	1	1	1	1.2	10	-0.3768	-0.2863
1	5	1	1	1.2	9.2	-0.0919	0.3910
1	1	8	1	1.2	11.4	-0.4275	-0.5305
1	1	1	3	1.2	8.8	-0.3434	-0.0362
1	1	1	1	2.2	9.6	-0.6168	-0.1400

3. Sızıntı Dalga Antenin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi

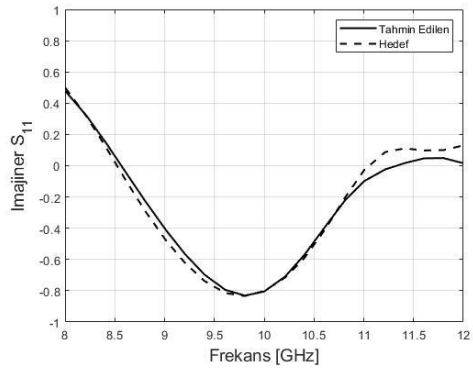
Bu çalışmada, eğitim ve test verisi aşağıdaki yöntem ile elde ediliştir.

- Fiziksel model 8-12 GHz aralığında 200 MHz'lik örnekler 3B benzetim programında analiz edilmiştir.
- Fiziksel modelden elde edilen S11 ve S21 verisinde, L1 parametresinin 1, 3, 5, 7, 10 değerleri sabit tutulup diğer parametrelerin değişimi ile elde edilenler eğitim verisi; 2, 4, 6, 8, 9 değerleri sabit tutulup diğer parametrelerin değişimi ile elde edilenler ise test verisi olarak ayrılmıştır.
- Elde edilen eğitim ve test verileri MLP algoritması ile tek ve iki katlı olarak işlenmiştir.
- MLP algoritmasında elde edilen en iyi hata oranına sahip yapay zeka modelleri seçilmiş ve bu modeller test edilmiştir.

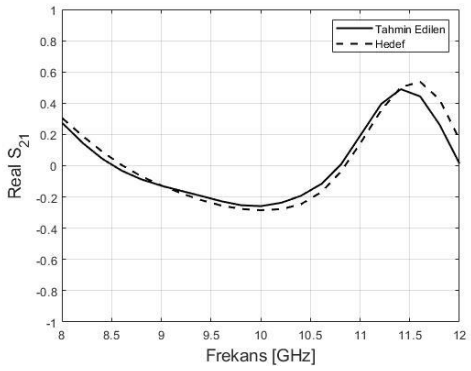
Birinci kat için 25, ikinci kat için 30 noröna sahip bir yapay zeka modeli için tahmin edilen ve hedef değerleri arasındaki farkı S_{11} için Şekil 2(a) ve Şekil 2(b)'de, S_{21} için Şekil 2(c) ve Şekil 2(d)'de gösterilmiştir.



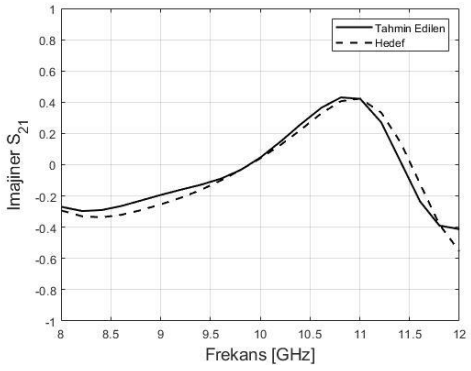
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 2: Sırasıyla 25 ve 30 noröna sahip iki katlı modelin S_{11} (a) Real, (b) imajiner, S_{21} (c) Real, (d) imajiner için tahmin edilen ve hedeflenen saçılma karakteristikleri.

4. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında bir yapay sinir ağı modeli olan çok katmanlı algılayıcı kullanılarak, 3B benzetim araçlarından elde edilen bir sızıntı antenin modellenmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda, önerilen sızıntı antenin birim hücresi modellenmiş olup, ilgili değişken parametrelerine göre eğitim ve test verileri hazırlanmıştır. Bu adımdan sonra, çok katmanlı algılayıcı modelli kullanılarak, farklı tasarım mimarilerinde eş değer modelin geliştirilmesi yapılmıştır. Sonuç olarak 2 adet gizli katmana sahip, her katmandaki nöron sayısı sırası ile 25, 30 olan model, ilgili birim hücrenin saçılma parametrelerini (S_{11} ve S_{21} için, real ve imajiner bileşenler olmak üzere 4 bileşen) en iyi şekilde üretmiştir. Sonuç olarak, bu çok değişkenli regresyon probleminin yapay sinir ağları ile yüksek doğrulukta çözülebileceği görülmüştür. Bu eş değer modelin, bir optimizasyon sürecinde 3B elektromanyetik benzetim aracı yerine kullanılması durumunda, toplam işlemsel verimliliğin ciddi anlamda artacağı kuşkusuzdur. İleri çalışmalarda önerilen bu yaklaşım ile geniş ve çok sayılı sızıntı dalga antenlerin tasarım optimizasyonlarının yapılması hedeflenmiştir.

5. Kaynaklar

[1] Volakis, J., Antenna Engineering Handbook, McGraw-Hill Education, Fourth Edition, 2006

[2] Caloz C. ITOH T., Electromagnetic Metamaterials: Transmission Line Theory And Mıcrowave Applications, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2006

[3] Lovat G.,Burghignoli P. ve Jackson D.R., "Fundamental Properties and Optimization of Broadside Radiation From Uniform Leaky-Wave Antennas" IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol:54, P:1442-1452, 2006

[4] Belen A., Güneş F., Belen MA. ve Mahouti P., "Microstrip leaky wave antenna for wide range of beam scanning in X band", Microwave and Optical Technolgy Letter, Vol:63, P:2646– 2650, 2021

[5] Menzel W., "A New Travelling Wave Antenna in Microstrip," 8th European Microwave Conference, 1978, P:302-306

[6] Xu F. ve Wu K., "Understanding Leaky-Wave Structures: A Special Form of Guided-Wave Structure", IEEE Microwave Magazine, vol:14 issue:5, P:87-96, 2013.

[7] Mahouti, P. (2019). Design optimization of a pattern reconfigurable microstrip antenna using differential evolution and 3D EM simulation-based neural network model. International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, 29(8), e21796.

[8] Zhang QJ, ve Gupta KC., Neural Networks for RF and Microwave Design. Boston: Artech House; 2000.

[9] Simsek M., ve Aoad A., "Efficient Reconfigurable Microstrip Patch Antenna Modeling Exploiting Knowledge Based Artificial Neural Networks. In: Koziel S., Leifsson L., Yang XS. (eds) Simulation-Driven Modeling and Optimization", Springer Proceedings in Mathematics & Statistics, 2016, vol 153. Springer, Cham.

[10] Li X, Gao J, Boeck G. Printed dipole antenna design using artificial neural network modeling for RFID application. Int J RF and Microwave Comp Aid Eng. 2006;16:607-611. https://doi.org/10.1002/mmce.20183