

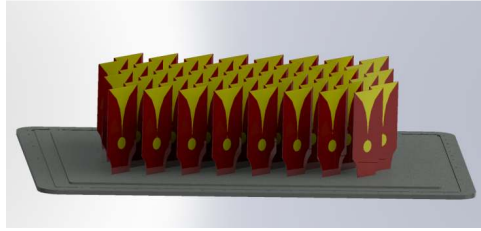
# Geniř Bantlı Fazlı Dizi Antenlerde RF Soğurucu Malzeme Kullanımı ve Modellenmesi

Mert KALFA, Erhan HALAVUT  
ASELSAN A.ř.  
Radar, Elektronik Harp ve İstihbarat Sistemleri Grubu  
Anten Teknolojileri M¼d¼rl¼ğ¼  
Ankara  
[mkalfa@aselsan.com.tr](mailto:mkalfa@aselsan.com.tr), [ehalavut@aselsan.com.tr](mailto:ehalavut@aselsan.com.tr)

**Özet:** Geniř bantlı ve geniş tarama hacimli fazlı dizi antenlerin tasarımımda farklı ihtiyaçlardan dolayı RF soğurucu malzemeler kullanılabilir. Bu durumda antenlerin elektromanyetik benzetimlerinde kullanılmak üzere malzemenin elektriksel parametrelerinin isabetli olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, soğurucu malzemeler çift dalga-kılavuzu prob (Dual Waveguide Probe, DWP) ile ölç¼lm¼ř ve elektriksel parametreler Nicolson-Ross-Weir (NRW) ve Newton-Raphson (NR) yöntemleri ile belirlenmiştir. RF soğurucu malzeme içeren farklı anten yapıları üretilmiş, ölç¼mleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar benzetim sonuçları ile kıyaslanmıştır.

## 1. Giriř

Geniř bantlı ve geniş tarama hacimli fazlı dizi anten tasarımımda son yıllarda üzerine en çok çalışılan anten elemanlarından biri vivaldi antenlerdir [1]. Tipik bir vivaldi fazlı dizi anten yapısı şekil 1’de verilmiştir. şekil 1’de gör¼ld¼ğ¼ gibi anten elemanları mekanik destek sağlamak ve geri ışımayı engellemek amacıyla metal toprak paneli üzerine yerleştirilmektedir. Toprak paneli yansıtıcı özelliğ¼ ve antene sabit mesafesi nedeniyle dar bantlı bir yapıdır ve geniş bantlı antenlerin ışıma performansını olumsuz etkilemektedir. Ayrıca vivaldi dizilerine özg¼ 3 boyutlu geometri nedeniyle anten sıraları arasındaki mesafeye bağılı olarak paralel-levha TM<sub>1</sub> modu uyurulmakta, bu da antenin TM<sub>1</sub> kesim frekansında (*cutoff frequency*) tamamen çalışamaz hale gelmesine sebep olmaktadır [2]. Bu nedenle toprak panelin yansıtıcılığının azaltılması ve paralel-levha modların oluşmasının engellenmesi için vivaldi anten dizilerinde toprak panellerinin üzerinde RF soğurucu malzeme kullanılması gerekebilir.



şekil 1. Örnek vivaldi anten dizisi

RF soğurucu malzemeler, adlarından anlaşılacağı gibi üzerlerine gelen elektromanyetik dalgaları soğurmak ve uygulandıkları yüzeyden oluşabilecek yansımaları azaltmak amacıyla kullanılır. Soğurucu malzemelerin anten benzetimlerinde kullanılabilmesi için istenen bütün frekans bandı boyunca elektriksel ve manyetik geçirgenlik sabitlerinin (*permittivity-ε<sub>r</sub>*, *permeability-μ<sub>r</sub>*) belirlenmesi gerekmektedir.

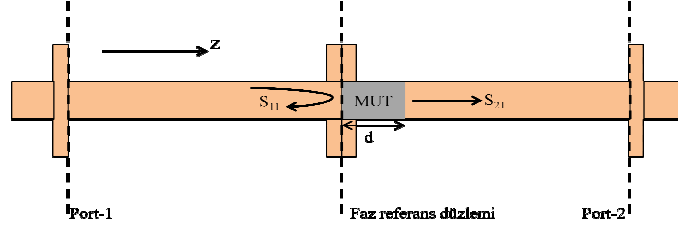
$$\epsilon_r \triangleq \epsilon/\epsilon_0 = \epsilon'_r - j\epsilon''_r \quad (1)$$

$$\mu_r \triangleq \mu/\mu_0 = \mu'_r - j\mu''_r \quad (2)$$

Bu çalışmada RF soğurucu malzemelerin geçirgenlik sabitlerinin belirlenmesi için çift dalga kılavuzlu prob düzeneğ¼ kullanılmıştır (şekil 2). Çift dalga kılavuzlu prob düzeneğ¼ ile ölç¼len S-parametrelerinden, Nicolson-Ross-Weir (NRW) yöntemi ([3]-[4]) ile malzemenin elektriksel ve manyetik geçirgenlik sabitleri ile ilgili bir başlangıç tahmini yapılmış, daha sonra dalga kılavuzu içerisinde iletim hattı teorisi kullanılarak Newton-Raphson (NR) yöntemi ile malzemelerin karakterizasyonu tamamlanmıştır. Malzeme karakterizasyonu sonucu elde edilen geçirgenlik sabitleri kullanılarak deneysel vivaldi anten yapılarının benzetimi HFSS’in sonlu elemanlar yöntemi ile yapılmış, benzetim sonuçları ölç¼m sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

## 2. Çift Dalga Kılavuzlu Prob Yöntemi

Çift dalga kılavuzlu prob yöntemi (*Dual-Waveguide Probe, DWP*) eşyönlü (*isotropic*) malzemelerin karakterizasyonu için yaygın kullanılan yöntemlerden birisidir. Bu yöntemde ölçümü yapılacak malzeme numunesi (*material under test, MUT*), istenen frekans bandında sadece  $TE_{10}$  modunun uyarılabildiği dalga kılavuzunun kesit alanına uygun kesilir. Seçilen frekansa uygun dalga kılavuzları S-parametre ölçümüne uygun olarak kalibre edilir. Hazırlanan numune dalga kılavuzunun içine yerleştirilir. Ölçüm düzeneği Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Çift Dalga Kılavuzlu Prob ölçüm düzeneği

Şekil 2’deki düzenek kurulduktan sonra, numune dalga kılavuzunun içinde iken incelenmek istenen frekans bandı boyunca S-parametreleri matrisi ölçülür ( $S_{11}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{22}$ ). Bu aşamadan sonra ölçülen S-parametrelerine karşılık gelen elektriksel ve manyetik geçirgenlik sabitlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

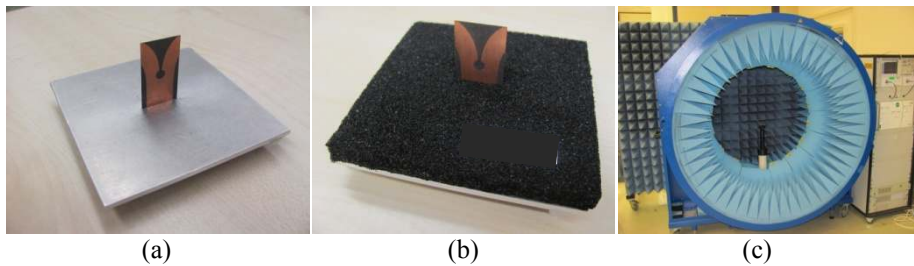
Bu çalışmada, S-parametreleri ölçümünden geçirgenlik sabitlerini elde etmek için Nicolson-Ross-Weir (NRW) ve Newton-Raphson (NR) yöntemleri birlikte kullanılmıştır. NRW yöntemi S-parametrelerinden geçirgenlik sabitlerini doğrudan hesaplamak için kullanılır [3].

Baker-Jarvis’in [5]’te tanımladığı denklemler dalga kılavuzu içinde geçirgenlik sabitlerinin çözümü için doğrusal olmayan bir denklem sistemi oluşturur. Doğrusal olmayan problemlerin yinelemeli olarak çözümü için kullanılan Newton-Raphson yöntemi, Baker-Jarvis denklemleri ile birlikte kullanıldığında geçirgenlik sabitleri hesaplanabilir. Newton-Raphson yöntemi gibi arama algoritmalarında başlangıç tahmini çok önemlidir. Yanlış bir başlangıç tahmini ile algoritma yerel minimum noktalarında takılıp doğru sonuca ulaşamayabilir. Ölçülen malzemenin geçirgenlik sabitleri ile ilgili önceden bir veri bulunmadığı durumlarda NRW yöntemi makul bir başlangıç tahmini verebilmektedir. NR yöntemi kadar isabetli olmadığı için, bu çalışmada NRW yönteminin çıktısı NR yönteminin başlangıç tahmini olarak kullanılmaktadır.

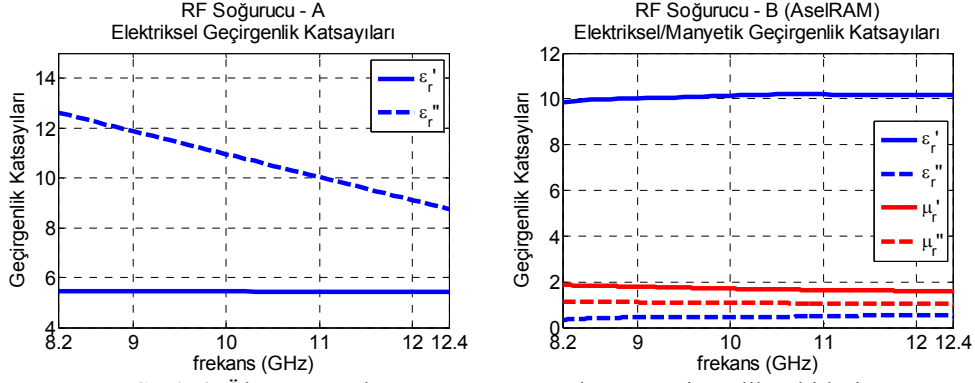
## 3. Ölçüm Sonuçları

Uygulanan malzeme ölçüm yöntemini doğrulamak amacıyla Şekil 3’te görüldüğü gibi küçük bir toprak paneli üzerinde X-Bantta çalışan tek bir vivaldi anten üretilmiştir. Antenin toprak panelinin üzerine yerleştirilmek üzere 2 farklı RF soğurucu malzeme seçilmiştir. Bu malzemelerden biri elektrik kayıplı ticari bir ürün iken, diğeri ASELSAN’da geliştirilmiş elektrik ve manyetik kayıplı elastomerik bir soğurucudur. Aşağıda listelenen bu malzemeler için NRW-NR yöntemi ile karakterize edilen elektriksel ve manyetik geçirgenlik sabitleri Şekil 4’te verilmiştir.

- RF Soğurucu –A: Sadece elektrik kayıplı RF soğurucu ( $\mu_r'' = 0$ )
- RF Soğurucu –B: AselRAM X-Bant Elastomerik Soğurucu ( $\mu_r'' \neq 0$ )

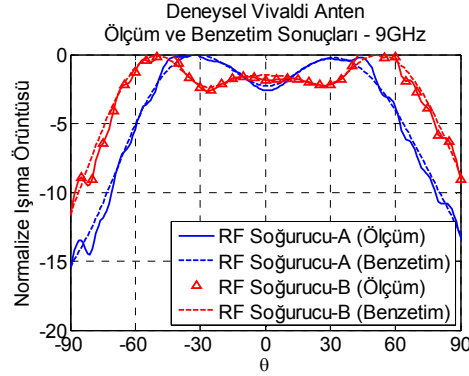


Şekil 3. (a)-(b)Yöntemi doğrulamak için üretilen deneysel X-Bant vivaldi anten  
(c) ASELSAN Küresel Yakın Alan Anten Ölçüm Sistemi



Şekil 4. Ölçümü yapılan RF soğurucu malzeme geçirgenlik sabitleri

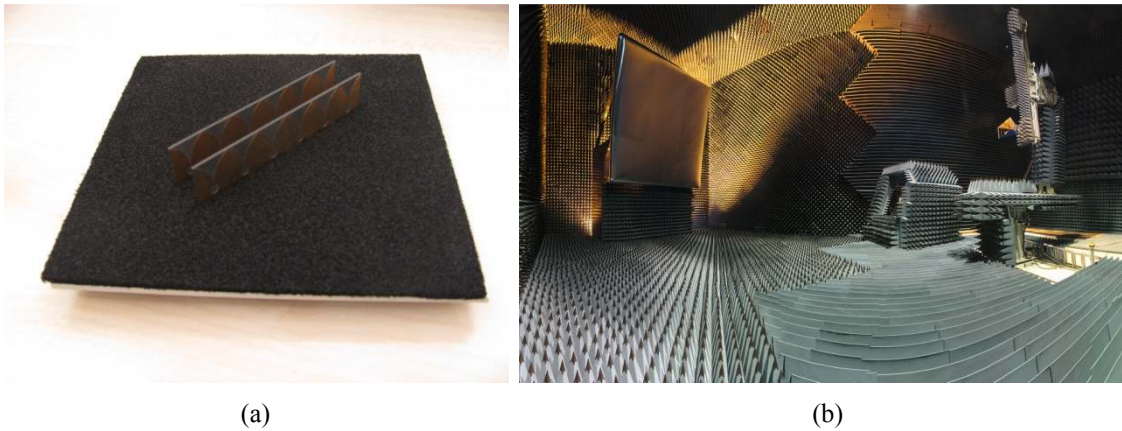
Karakterizasyonu tamamlanan RF soğurucu malzemeler, Şekil 3-a’da gösterilen vivaldi anten modeli üzerine yerleştirilerek HFSS ortamında analiz edilmiştir. Elde edilen ışıma örüntüleri, Aselsan bünyesindeki Küresel Yakın Alan Anten Ölçüm Sistemi’nde (Şekil 3-c) yapılan ölçümler ile karşılaştırılmıştır. Örnek olarak Şekil 5’te antenin karşılaştırmalı E-düzlem ışıma örüntüleri 9GHz frekansında verilmiştir.



Şekil 5. Farklı RF soğurucu malzemeler ile oluşan ışıma örüntüleri

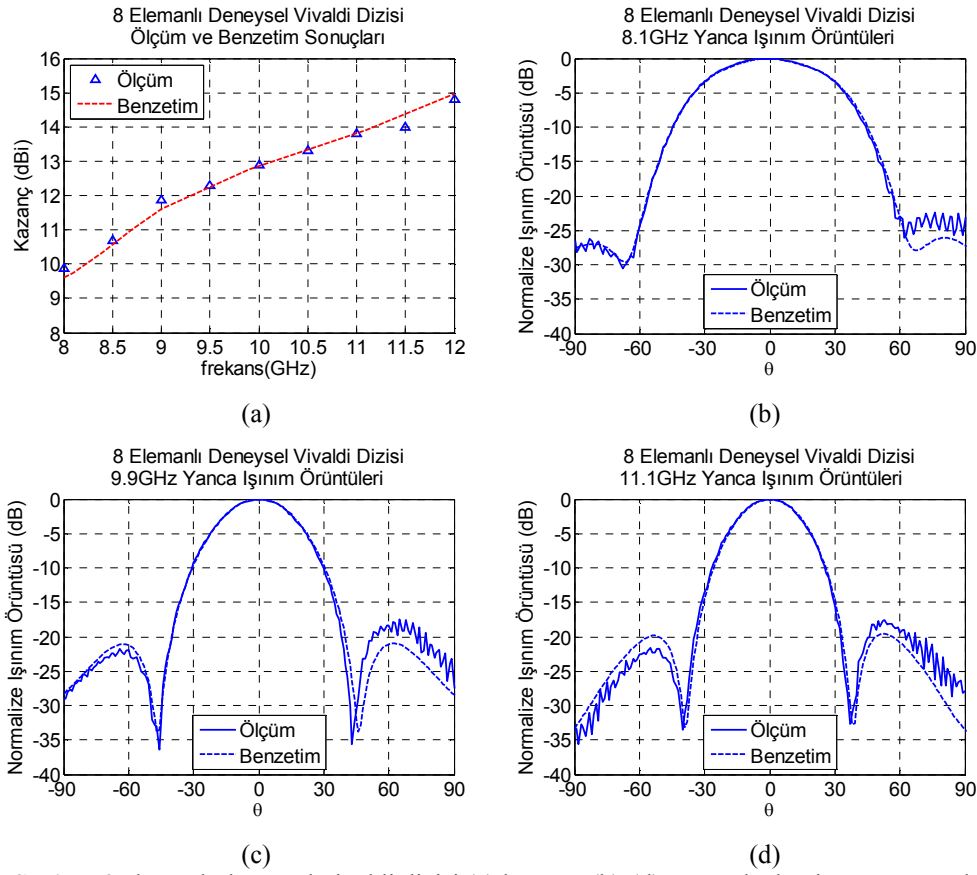
NRW-NR yöntemi ile belirlenen malzeme geçirgenlik sabitleri anten modelinde kullanıldığında elde edilen benzetim sonuçları ile ölçülen anten ışıma örüntüleri karşılaştırıldığında, hesaplama yönteminin başarımının yüksek olduğu görülmektedir.

Tek anten üzerinde doğrulanan malzeme karakterizasyon yönteminin dizi antenler için de doğrulanması amacıyla toprak paneli üzerinde RF Soğurucu-A bulunan 8 elemanlı deneysel bir vivaldi dizi anteni üretilmiştir (Şekil 6-a).



Şekil 6. (a) 8 Elemanlı X-Bant vivaldi dizisi (b) ASELSAN Kompakt Alan Anten Ölçüm Sistemi

Şekil 6'da görülen 12 vivaldi anten elemanından kenarlarda bulunan 4 adedi parazitik eleman olarak görev yapmaktadır. Üretilen antenin ışıma örüntüleri ve kazancı Aselsan bünyesindeki Kompakt Alan Anten Ölçüm Sisteminde (Şekil 6-b, [6]) ölçülerek, sonuçlar HFSS benzetimleri ile kıyaslanmıştır.



Şekil 7. 8 elemanlı deneysel vivaldi dizisi (a) kazanç, (b)-(d) yanca düzlemi ışıma örüntüleri

Şekil 7'de görüldüğü gibi, RF Soğurucu-A malzemesi ile birlikte modellenen vivaldi dizi antenin kazancı ve ışıma örüntüleri isabetli şekilde karakterize edilebilmiştir. Işıma örüntüsü ölçümlerinde gözlenen asimetri ve dalgalanmaların sırasıyla hizalama hataları ve antenin metalik montaj detaylarından oluşan yansılardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

#### 4. Sonuç

Bu bildiride, anten benzetimlerinde kullanılmak istenen RF soğurucu malzemelerin geçirgenlik sabitlerini belirlemek için izlenen yöntem açıklanmıştır. Bu yöntemde malzemelerin çift dalga kılavuzlu prob içinde S-parametreleri ölçümlü yapılmış, daha sonra Nicolson-Ross-Weir ve Newton-Raphson yöntemleri ile S-parametrelerinden geçirgenlik sabitlerine dönüşüm yapılmıştır. Karakterize edilen RF soğurucu malzemeler iki farklı deneysel vivaldi anten yapısında incelenmiş ve ölçüm sonuçlarının benzetim sonuçları ile uyumlu olduğu gösterilmiştir.

#### Kaynaklar

- [1] Gibson P. J., "The vivaldi aerial," Proceedings 9th European Microwave Conference., s.101–105, 1979.
- [2] Ellgardt A., "Wide-angle scanning wide-band phased array antennas," Doktora tezi, KTH School of Electrical Engineering, Stockholm, İsveç, 2009.
- [3] Nicolson A. M. ve Ross G. F., "Measurement of the intrinsic properties of materials by time-domain techniques," *IEEE Trans. Instrum.Meas.*, vol. IM-19, no. 4, s. 377–382, Kasım 1970.
- [4] W. B. Weir, "Automatic measurement of complex dielectric constant and permeability at microwave frequencies," *Proc. IEEE*, vol. 62, no.1, pp. 33–36, Jan. 1974.
- [5] Baker-Jarvis, J., Vanzura, E., and Kissick, W, "Improved technique for determining complex permittivity with the transmission/reflection method," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 38, s. 1096–1103, 1990.
- [6] Halavut E., "ASELSAN Kompakt Alan Anten Ölçüm Sistemi," URSI 2012 Konferansı, İstanbul 2012