

# Dikdörtgen Dielektrik Rezonatör Antenin Rezonans Frekansının Basit ve Güvenilir Hesabı

## Simple and Accurate Calculation of Resonant Frequency of Rectangular Dielectric Resonator Antenna

Çiğdem Seçkin Gürel, Hayriye Coşar

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği  
Hacettepe Üniversitesi  
cigdem@hacettepe.edu.tr, hayriye.cosar@gmail.com

### Özet

*Bu çalışmada, sonda ve mikroşerit hat beslemeli dikdörtgen dielektrik rezonatör antenlerin (DDRA) verimli çalışmaları için son derece önemli olan rezonans frekanslarının yeni ve güvenilir hesabını yapmak üzere literatürde diğer modellere göre daha az hata içeren dielektrik dalga kılavuzu modeli (DDKM) ile modifiye edilmiş dielektrik dalga kılavuzu modelinin (MDDKM) iyileştirilmesine dayanan yeni bir hesaplama yöntemi önerilmiştir. Etkin dielektrik dalga kılavuzu modeli (EDDKM) adı verilen bu hesaplama yöntemiyle sağlanan sonuçların farklı yapısal parametre durumları için birçok durumda daha az hata içerdiği gösterilmiştir.*

### Abstract

*In this study for Rectangular Dielectric Resonator Antenna (RDRA) having different feed mechanisms such as coaxial feed and microstrip feed, a new and accurate formula to determine resonant frequency having critical importance for the efficient operation of the antenna is given. This new method called as "Enhanced Dielectric Waveguide Model" (EDWM) results with less percentage error values than other methods such as "Dielectric Waveguide Model (DWM)" and "Modified Dielectric Waveguide Model (MDWM)". Considerable improvement over the previous models is achieved providing very small percentage error values for almost all cases.*

### 1. Giriş

Son zamanlarda, mobil ve uydu haberleşme alanlarında kullanılan cihazların ebatlarının küçülmesi ve kullanılan frekans bant aralığının yükselmesi yönünde bir akım söz konusudur. Yüksek frekans bandını kullanan önemli mikrodalga elemanlarından biri de dielektrik rezonatörler olup son yıllarda düşük kayıplı yüksek dielektrik sabitli yapılar olarak haberleşme cihazları başta olmak üzere farklı birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır [1]-[3]. Küçük boyut, düşük fiyat, kolay üretim, yüksek radyasyon ve geniş bantgenişliği gibi

avantajları ile aktif veya pasif mikrodalga entegre devrelerde (MIC) ve tektaş mikrodalga entegre devrelerde (MMIC) kullanımları da giderek artmaktadır. Düşük kayıplı maddelerin kalite faktörü yüksek olup güç kayıplarıyla ters orantılıdır. Ancak dielektrik rezonatörler boş uzaya konulduğunda farklı özellikler gösterirler. Bu durumda güç kaybı artar, kalite faktörleri düşer ve anten olarak kullanılabilirlikleri söz konusu olmaya başlar.

Bir dielektrik rezonatör anten (DRA), küresel, silindirik veya dikdörtgen gibi farklı şekillerde olabilir ve farklı polarizasyonlarda çalışabilir [4]-[6]. Her şekil ve her farklı polarizasyon için, DRA değişik karakteristikler gösterir. Sonda, açıklık ve mikroşerit hat gibi besleme uygulamaları ile anten uygulamaları yönünden de çeşitlilik sunmaktadır. Yapısal olarak, dielektrik rezonatörün iletken bir plaka üzerine yerleştirilmesi ve iletken plaka üzerinden beslenmesi tasarımlarda esas alınmaktadır. DRA'ların boyutları ayarlanarak daha çok kazanç sağlanabilir ve rezonans frekansları değiştirilebilir. DRA çeşitleri arasında, dikdörtgen DRA'nın (DDRA) diğer DRA'lara göre üstün özellikleri vardır. Mod bozulmaları silindirik ve küresel DRA'larda ortaya çıkarak sorun oluştururken, DDRA'ların yükseklik/genişlik/uzunluk oranlarının ayarlanmasıyla bu bozulmalar önlenmektedir [7]-[9].

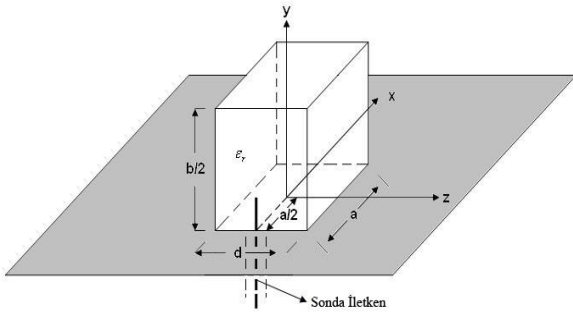
DRA yapısında besleme yapılan mikroşerit hat veya sonda ile tam bir eşleşme sağlamak için, DRA yapımında yüksek dielektrik sabitli maddeler tercih edilirken bantgenişliğini artırmak için düşük dielektrik sabitli maddelerin seçilmesi gerekmektedir. Dielektrik sabiti seçimi, bu nedenle, DRA'nın verimli çalışmasında en önemli parametrelerinden biri olmaktadır.

DRA incelemeleri için farklı yöntemler ortaya konmuş olmakla birlikte, önemli bazı özelliklerinin hesabı için kesin ve hatasız modeller bulunamamıştır. Özellikle DRA'nın rezonans frekansını bulmak için bazı yaklaşımsal çalışmalar literatürde mevcuttur [9]-[13].

Bantgenişliği kısıtlaması nedeniyle bir DRA'nın rezonans frekansı etrafında çalıştırılması oldukça önemlidir. DDRA için rezonans frekansı hesabı yapan çeşitli çalışmalar literatüre sunulmuştur [4], [10]. Bunların içinde en az hataya sahip olan yaklaşımlarından biri Dielektrik Dalga Kılavuzu Modeli (DDKM) [4], diğeri ise Modifiye Edilmiş Dielektrik Dalga Kılavuzu Modeli (MDDKM)'dir. [13]. Her iki yöntemin yüzdelik hata değerleri diğerlerine göre iyileştirilmiş olmakla birlikte yüksektir ve özellikle bazı yapısal parametre değerleri için hata oranları oldukça fazladır. Bu çalışmada ise DDKM modeli ve deney sonuçları esas alınarak Etkin Dielektrik Dalga Kılavuzu Modeli (EDDKM) olarak adlandırılan oldukça basit yeni bir hesaplama önerilmiştir. Bu yeni hesaplama yöntemi ile önceki çalışmalarda sağlanan iyileştirmeler üzerinde çoğu durum için ek iyileştirmeler sağlanmış ve yüzdelik hata oranlarında makul değerlere inilmesi mümkün olmuştur.

## 2. Teori

Bu çalışmada esas alınan ve Şekil 1'de gösterilen DDRA yapısı,  $\epsilon_r$  dielektrik sabitine ve  $b/2$  kalınlığa sahip olup boş uzayda sonda iletken ile  $TE_{111}$  modu için uyarımı yapılmıştır.



Şekil 1: Sonda beslemeli dikdörtgen dielektrik rezonatör anten.

DDRA için rezonans frekansını hesabı için öncelikle dalga numaraları bulunmalıdır . Sınır koşulları ile bu sabitler

$$k_x = \frac{\pi}{a} \quad (1)$$

$$k_y = \frac{\pi}{b} \quad (2)$$

Őeklinde belirlenir [4]. Sınır koşullarının uygulanması ile yapının karakteristik denklemi

$$k_z \tan\left(\frac{k_z d}{2}\right) = \sqrt{(\epsilon_r - 1)k_0^2 - k_x^2 - k_y^2} \quad (3)$$

ile

$$k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 = \epsilon_r k_0^2 \quad (4)$$

ifadesi elde edilir. Burada  $k_x, k_y$  and  $k_z$ , sırasıyla x, y ve z yönlerindeki dalga numaraları olup serbest uzay dalga numarası  $k_0$ 'ın hesaplanmasında kullanılır. Buradan EDDKM'ne göre rezonans frekansı için basit formda

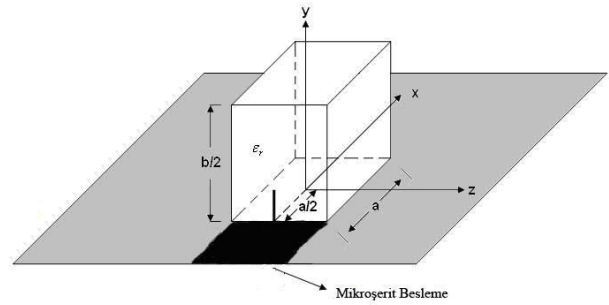
$$f_o = (1 + a\epsilon_r) \frac{c}{2\pi} k_0 \quad (5)$$

yaklaşımı ile başlanmış olup c, boş uzaydaki ışık hızını göstermektedir. Sonuçların farklı durumlar için en az hata oranı sağlamak üzere deneysel sonuçlar ve DDKM verileri ile eğri uyumlaması yapılarak

$$f_o = (1 + 0.00133\epsilon_r) \frac{c}{2\pi} k_0 \quad (6)$$

ifadesi elde edilmiştir. Bu yapıya ait rezonans frekansı sonuçları Tablo 1'de listelenmiştir.

Çalışmada ele alınan DRA yapılarından ikincisi ise Şekil 2'de gösterilen mikroşerit hat beslemeli yapı olup diğer bütün özellikleri bir nceki DRA yapısı ile aynıdır.



Şekil 2: Mikroşerit hat beslemeli dikdörtgen dielektrik rezonatör anten.

Şekil 2'de verilen DRA için EDDKM ile hesaplanan rezonans frekansı değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

### 3. Sonuçlar

Bu çalışmada farklı boyut ve dielektrik sabitlerine sahip sonda ve mikroşerit hat beslemeli DDRA'lar için yeni ve basit bir rezonans frekansı hesaplama yöntemi önerilmiştir. Rezonans frekansları, sonda beslemeli DRA için literatür verileri esas alınarak DDKM [4] ve EDDKM ile, mikroşerit beslemeli DRA için DDKM, MDDKM [13] ve EDDKM ile hesaplanmıştır. DDKM ve MDDKM'nin hata oranlarına göre EDDKM çok daha az hata ile rezonans frekanslarını bulmaya olanak sağladığından, EDDKM; DDKM ve MDDKM'ye göre daha güvenilir bir yaklaşım olarak değerlendirilmiştir.

Sonda beslemeli DRA'ın bütün örnekleri için hesaplanan rezonans frekanslarına göre DDKM için %5 ortalama hata hesaplanırken, EDDKM için bu değer %2.1 olarak bulunmuştur.

Mikroşerit hat beslemeli DRA için yapılan hesaplamalarda her üç yöntemle de genişlik/yükseklik oranı küçük olan örneklerde deneysel sonuçlara daha yakın değerlere ulaşılmaktadır. Toplam ortalama hata oranları ise DDKM için %5.16, MDDKM için %3.64 olup, EDDKM için %2.4 olarak hesaplanmıştır. Buradan, mikroşerit beslemeli DRA yapısı için de sonda beslemeli yapıda olduğu gibi EDDKM ile sağlanan sonuçların daha az hata içerdiği sonucuna varılmıştır.

Tablo 1: Sonda beslemeli DDRA rezonans frekanslarının deneysel ve teorik hesaplamalarla (GHz cinsinden) kıyaslanması.

DRA	$\epsilon_r$	a (mm)	b/2 (mm)	d (mm)	$f_{o,deney}$ [4]	$f_{o,DDKM}$ [4]	$f_{o,EDDKM}$	%Error (DDKM)	%Error (EDDKM)
1	10.8	15.24	7.62	3.10	6.21	6.95	8.04	11.9	13.3
2	20.0	10.16	7.11	10.16	4.71	4.63	4.75	-1.7	0.8
3	20.0	10.16	10.16	7.11	4.55	4.60	4.72	1.1	3.7
4	37.84	9.31	4.60	9.31	4.50	4.16	4.37	-7.6	-2.8
5	37.84	15.24	7.62	7.62	3.06	2.90	3.05	-5.2	-0.2
6	37.84	7.62	15.24	7.62	4.08	3.88	4.07	-4.9	-0.2
7	37.84	8.77	8.77	3.51	4.76	4.52	4.75	-5.0	-0.2
8	37.84	8.77	3.51	8.77	5.19	4.89	5.14	-5.8	-0.9
9	37.84	9.31	9.31	4.60	4.25	4.00	4.20	-5.9	-1.2
10	79.46	12.70	2.54	2.54	5.43	4.92	5.41	-9.4	-0.3
11	79.46	12.70	6.35	6.35	2.64	2.40	2.64	-9.1	0
12	79.46	7.70	7.70	7.70	3.17	2.84	3.12	-10.4	-1.6

Tablo 2: Mikroşerit hat beslemeli DDRA rezonans frekanslarının deneysel ve teorik hesaplamalarla (GHz cinsinden) kıyaslanması.

DRA	$\epsilon_r$	a (mm)	b/2 (mm)	d (mm)	$f_{o,deney}$ [4]	$f_{o,DDKM}$ [4]	$f_{o,MDDKM}$ [13]	$f_{o,EDDKM}$	%Error (DDKM)	%Error (MDDKM)	%Error (EDDKM)
1	37.84	8.77	3.51	8.77	5.34	4.89	5.02	5.13	8.4	5.9	4.1
2	37.84	9.31	4.6	9.31	4.59	4.16	4.27	4.38	9.4	6.9	4.6
3	37.84	8.6	8.6	2.58	5.34	5.07	5.21	5.32	2.4	2.4	0.3
4	37.84	8.77	8.77	3.51	4.79	4.52	4.65	4.75	2.9	3.0	0.8
5	37.84	9.31	9.31	4.6	4.11	4.00	4.11	4.20	2.7	0	2.2

#### 4. Yorumlar

Bu çalışmada uygulama alanları giderek artmakta olan sonda beslemeli ve mikroşerit hat beslemeli dikkörtgen dielektrik rezonator antenlerin rezonans frekansını en az yüzdelik hata ile basit formda veren bir formülasyon önerilmiştir. Literatürde mevcut çalışmalarla yapılan karşılaştırmalar, sonuçların deneysel sonuçlarla daha iyi bir uyum içinde olduğunu göstermiştir. İlerde olası çalışmalarda, mevcut yaklaşım ve hesaplama farklı DRA geometrilerine ve DDRA'nın çok katmanlı tasarımlarına da genişletilebilecektir.

#### 5. Kaynaklar

- [1] Long, S.A., McAllister, M.W. ve Shen, L.C., "The resonant cylindrical dielectric cavity antenna," *IEEE Trans. Antennas Prop.*, Cilt No. 31, 406-412, 1983.
- [2] Cohn, S.B., "Microwave bandpass filters containing high-Q dielectric resonator," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, Cilt No. 16, 218-227, 1968.
- [3] Long, S.A., "The resonant cylindrical dielectric cavity antenna", *IEEE Trans. Antennas Prop.*, Cilt No. 31, 406-412, 1983.
- [4] Mongia, R.K. ve Ittipiboon, A., "Theoretical and experimental investigations on rectangular dielectric resonator antennas", *IEEE Trans. Antennas Prop.* Cilt No. 45, 1348-1356, 1997.
- [5] Guan, J.M. ve Su, C.C., "Resonant frequencies and field distributions for the shielded uniaxially anisotropic dielectric resonator by the FD-SIC Method", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, Cilt No. 45, 1767-1777, 1997.
- [6] Mongia, R.K. ve Bhartia, P., "Dielectric resonator antennas review and general design relations for resonant frequency and bandwidth," *Int. J. Microw. Millim.-Wave Comp. Aided Eng.*, Cilt No. 4, 230-247, 1994.
- [7] Gastine, M., Courtois, L. ve Dormann, J.J., "Electromagnetic resonances of free dielectric spheres," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, Cilt No. 15, 694-700, 1967.
- [8] Kajfez, D. ve P. Guillon, Eds., "*Dielectric Resonators*", Norwood, MA: Artech, 1986.
- [9] Mongia, R.K., Ittipiboon, A., Cuhaci, M. ve Roscoe, D., "Radiation Q-factor for rectangular dielectric resonator antennas: Theory and experiment", *Int. IEEE AP-Symp.* Seattle, 764-767, 1994.
- [10] Peng, Z., Wang, H. ve Yao, X., "Dielectric resonator antennas using high permittivity ceramics", *Ceramics Int*, Cilt No. 30, 1211-1214, 2004.
- [11] Maj, Sz. ve Modelski, J.W., "Application of a dielectric resonator on microstrip line for a measurement of complex permittivity," in IEEE, *Int. Microwave Symp. Dig.*, 525-527, 1984.
- [12] Gil, F.H. ve Perez, J.P., "Analysis of dielectric resonators with tuning screw and supporting structure," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, Cilt No. MIT-33, 1453-1457, 1985.
- [13] Antar, Y.M.M., Cheng, D., Seguin, G., Henry, B. ve Keller, M.G., "Modified Waveguide Model (MWGM) for rectangular dielectric resonator antenna", *Microw. Opt. Tech. Lett.*, Cilt No. 19, 158-160, 1998.