

Mikroşerit Yama Anten İçin Tasarlanmış Dambıl İlaveli Tamamlayıcı Ayrık Halka Rezonatör Tipi Bozulmuş Toprak Yüzeye Kazınan Rezonatör Konumunun Elektriksel Boyuta Etkisinin Nümerik Olarak İncelenmesi

Numerical Investigation of the Effect of Resonator Position Etched on Defected Ground Structure Composed of a Complementary Split Ring Resonator with Dumbbell Designed for Microstrip Patch Antenna on Electrical Size

Elif Merve Küçüköner¹, Umut Köse¹, Evren Ekmekçi¹

¹ Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Süleyman Demirel Üniversitesi

elifkucukoner@sdu.edu.tr, umut.kose29@gmail.com, evrenmekci@sdu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada öncelikle referans olarak 2,45 GHz çalışma frekansına sahip sıradan bir mikroşerit dikdörtgen yama anten tasarlanmıştır. Ardından bu temel antenin toprak düzlemine Dambıl İlaveli Tamamlayıcı Ayrık Halka Rezonatör (TAHR-D) yapısı kazınarak bozulmuş toprak yüzeyi (BTY) yapısı oluşturulmuştur. BTY yapısına sahip antenlerde bu TAHR-D yapısının konumu dikey yönde değiştirilerek bu değişikliğin antenin elektriksel boyutuna etkileri incelenmiş ve sonuçlar temel (referans) mikroşerit anten ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada tasarlanan tüm antenler girinti empedans uyumlaştırma yöntemi ile entegre mikroşerit hat ile beslenmiştir. İncelenen her bir antenin empedansını uyumlaştırmak için girinti miktarı değiştirilmiştir. Nümerik analizler göstermektedir ki TAHR-D ile oluşturulan BTY yapısı, klasik mikroşerit antene kıyasla %45,71 değerine kadar elektriksel boyutta küçülme sağlamıştır.

Abstract

In this study firstly an ordinary microstrip patch antenna is designed at 2,45 GHz resonance frequency as the reference. Then the defected ground structure (DGS) is constructed by etching a Complementary Split Ring Resonator with dumbbell (CSRR-D) on the ground plane of the conventional antenna. The effects of the position on the electrical size are investigated by changing the position of CSRR-D on DGS along vertical direction and the results are compared with reference microstrip antenna. In this study, all the designed antennas are fed by microstrip lines integrated with inset impedance matching technique. The amount of inset is adjusted for each antenna under investigation. Numerical analyses show that DGS composed of CSRR-D provides 45.71 electrical size reduction as compared to ordinary microstrip antenna.

1. Giriş

Günümüzde haberleşme teknolojilerinde kablosuz haberleşme sistemleri, özellikle mobil uygulamalar için vazgeçilmezdir. Kablosuz sistem tasarımlarında düşük maliyet ve yüksek performansın yanı sıra, sistem boyutunun küçük ve hafif olması da önemlidir [1, 2]. Literatürde mikroşerit antenlerin performansını geliştirmeye yönelik birçok çalışma mevcuttur [3-19].

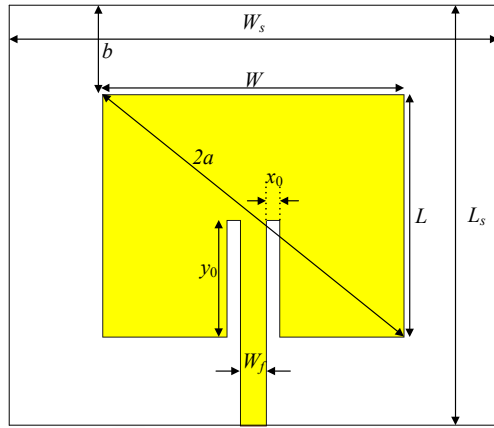
Elektriksel boyut küçültme konusunda literatürde çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerin arasında öne çıkan bazıları; endüktif ve kapasitif yüklerin kullanılması [3-4], manyeto-dielektrik malzeme kullanılması [5], metamalzeme tabanlı malzemelerin kullanılması [6] ve bozulmuş toprak yapılarının kullanılması [7-19] olarak sıralanabilir.

ka değeri antenin elektriksel boyutunu ifade etmek için yaygın olarak kullanılan önemli bir ölçüdür. Burada $k = 2\pi/\lambda$, λ çalışma frekansındaki (f_0) serbest uzay dalga boyu ve a anteni çevreleyen en küçük kürenin yarıçapı olarak tanımlanır [6].

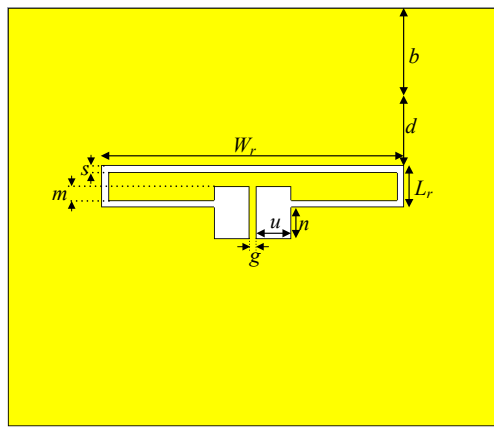
Bu çalışmada taban malzemesi olarak Arlon AD300A kullanılmıştır. Tasarımlar ve nümerik analizler CST Microwave Studio (MWS) ortamında gerçekleştirilmiştir. Öncelikle 2,45 GHz çalışma frekansına sahip temel bir anten tasarlanmış ve bu antenin toprak düzlemine dambıl ilaveli TAHR yapısı (TAHR-D) kazınarak bozulmuş toprak yüzeyi yapısı tasarlanmıştır. Tasarlanan bu antenin toprak düzlemindeki TAHR-D yapısı dikey düzlemde kaydırılarak; TAHR-D konumunun anten rezonans frekansına (f_0), yansıma katsayısına ($|S_{11}|$), kazanç (G) ve yüzde elektriksel boyut küçülmeye (%EBK) etkileri incelenmiştir. TAHR-D yapısının konumu giriş empedansını etkilediğinden her bir tasarım için girinti miktarı değiştirilmiş ve empedans uyumunun göstergesi olarak gerilim duran dalga oranı (VSWR) değerleri incelenmiştir.

2. Antenlerin Tasarımı ve Benzetim Ortamı

Bu çalışmada sunulan BTY'li mikroşerit anten yapılarının performans analizleri yapılırken öncelikle temel anten olarak 2,45 GHz ISM bandında çalışan sıradan dikdörtgen mikroşerit yama anten yapısı seçilmiştir. Bu antenin üstten şematik görünümü ile tasarım parametreleri Şekil 1(a)'da verilmiştir. Temel antenin toprak düzlemi tamamen bakırdan oluşmaktadır. Şekil 1(b)'de ise BTY yapısına sahip antenler için toprak düzlemin şematik görünüşü ve tasarım parametreleri mevcuttur. Temel mikroşerit anten, BTY yapısına sahip diğer mikroşerit antenler için referans olarak kullanılmıştır. BTY yapıları antenler tasarımlarında mikroşerit yama elemanı temel anten ile aynı seçilmiş olup sadece empedans uyumlandırma açısından y_0 girinti miktarları farklıdır. Antenler 50 Ω empedansa sahip mikroşerit hat ile beslenmiştir. Temel anten ile TAHR-D yapısına sahip antenlerin tasarım parametreleri Çizelge 1'de listelenmiştir. Tasarımlarda taban malzemesi olarak dielektrik sabiti $\epsilon_r = 3$, metal kalınlığı $t = 0,035$ mm, dielektrik malzeme kalınlığı $h = 1,524$ mm ve dielektrik kayıp tanjantı $\tan\delta = 0,002$ olan Arlan AD300A kullanılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 1: Anten yapısının şematik görünümü ve tasarım parametreleri (a) Üstten görünüşü (b) TAHR-D yapıları antenin bozulmuş toprak düzlemi.

Tasarımlar ve nümerik hesaplamalar için CST-MWS tam dalga elektromanyetik dalga çözümleyicisi kullanılmıştır. Benzetimler sırasında antenler dalga kılavuzu portu ile beslenmiş ve hesaplama uzayı açık-ekle (open-add) duvarları ile sınırlandırılmıştır. Nümerik hesaplamalar frekans bölgesi çözümleyici ile gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1: Anten tasarım parametreleri.

Parametre	Açıklaması	Değeri (mm)
W_s	Taban malzemesinin genişliği	70
L_s	Taban malzemesinin boyu	60
W	Yama genişliği	43,29
L	Yama boyu	34,8
W_f	Besleme hattının genişliği	3,79
A	Yamanın maksimum lineer uzunluğu (TAHR-D yapısı yamanın izdüşümündeyken)	55,543
x_0	Besleme girintisinin boşluğu	1,895
y_0	Besleme girintisinin uzunluğu	Her bir anten için farklı
W_r	TAHR-D yapısının genişliği	43,29
L_r	TAHR-D yapısının boyu	6
s	TAHR-D yapısının kalınlığı	1
g	TAHR-D yapısındaki boşluğun genişliği	1
m	Dambılın iç kısımdaki boyu	2,5
n	Dambılın dış kısımdaki boyu	4
u	Dambılın genişliği	5
b	Yamanın taban malzemesinin üst noktasına olan uzaklığı	12,6
d	TAHR-D yapısının yamanın üst noktasına olan uzaklığı	Her bir anten için farklı

3. Sonuçlar

Öncelikle 2,45 GHz ISM bandında çalışan mikroşerit yama anten tasarımı ve benzetimleri yapılmıştır. Anten benzetim ortamında 2,45 GHz merkez çalışma frekansına sahiptir. Hesaplamalar sonucunda merkez frekansında anten kazancının $G = 6,47$ olduğu görülmüştür. Besleme girinti değeri $y_0 = 11,1$ mm için VSWR = 1,02 olarak hesaplanmıştır.

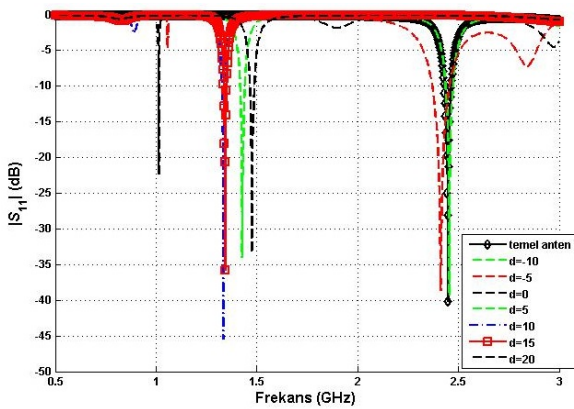
Tasarımı yapılan mikroşerit yama anten referans alınarak, bu antenin toprak düzlemine tasarım parametreleri Çizelge 1'de ve şematik görünümü Şekil 1(b)'de verilen TAHR-D kavitesi oluşturulmuş ve bu şekilde, BTY'li yeni antenler elde edilmiştir. Her bir BTY'li antenin tasarımındaki farklılık, TAHR-D yapısının yamanın toprak düzlemindeki izdüşümünün üst noktasına uzaklığın parametresi olan d parametresinin değeridir. Burada d parametresinin değerinin temel anten parametrelerine ve elektriksel boyuta etkisi incelenmiştir. Antenin toprak düzleminde kavite olarak bulunan TAHR-D yapısının da ışıma elemanı olması nedeniyle ka değerinin hesabı yapılırken eğer yapılar yamanın toprak düzlemindeki izdüşümünün sınırlarının içerisine denk gelmiyor ise ışıma elemanını çevreleyen en küçük kürenin yarıçapı olan a değeri artmaktadır. d parametresinin -5 ve -10

mm değerleri için ka hesabı yapılırken bu durum göz önünde bulundurulmuştur. Bu değerler için çalışma frekansları sırasıyla 2,45 GHz ve 2,41 GHz'tir. Bu değerler için elektriksel boyutta küçültme sağlanmadığından TAHR-D yapısının yamanın toprak düzlemindeki izdüşümünün sınırları içerisinde bulunduğu d değerlerinden daha fazla örnek alınarak detaylı analizler yapılmıştır. Yine TAHR-D yapısının ışıma elemanı olmasından kaynaklanan ve TAHR-D yapısının konumunun değiştirilmesiyle gerçekleşen empedans değişimlerinin uyumlandırılması amacıyla her bir yapı için besleme hattının girinti uzunluğu (y_0) parametrik çalışmalar sonucunda yeniden hesaplanmış ve ilgili VSWR değerleri ile birlikte Çizelge 2'de listelenmiştir. $d = 10$ mm için nümerik olarak elde edilen y_0 değeri 16,72 mm'dir ve bu değer için benzetim ortamında VSWR değeri 1,02 olarak hesaplanmıştır. Çalışma frekansı olan 1,33 GHz'te anten kazancı $G = 3$ dB olarak bulunmuştur. Bu anten için ka değeri 0,77 iken elektriksel boyut küçültme oranı %45,71 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 2: Farklı d değerleri için antenlerin besleme girinti miktarları ve VSWR değerleri

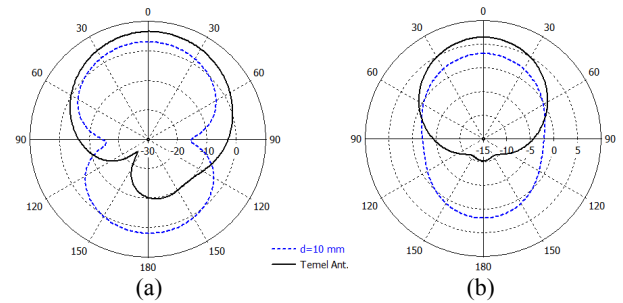
d (mm)	y_0 (mm)	VSWR
-10	10,75	1,02
-5	3,5	1,00
0	15,5	1,16
5	16,35	1,04
8	17,15	1,04
10	16,72	1,02
15	15,3	1,03
17	14,25	1,09
20	14,3	1,05
Temel Ant.	11,1	1,02

Şekil 2'de farklı d değerleri için $|S_{11}|$ grafikleri verilmiştir. Bu grafikler tasarlanan anten yapılarının rezonans frekansları f_0 , ka değerleri ve %EBK değerlerini hesaplamak için kullanılmıştır.



Şekil 2: Farklı d değerleri için $|S_{11}|$ grafiği.

Şekil 3'te ise sadece temel anten için ve %45,71 ile elektriksel boyutta en fazla küçültmenin sağlandığı yapı olan $d = 10$ mm anteni için kazanç grafikleri E ve H düzlemleri için verilmiştir. Burada tasarımı yapılan diğer antenlerin ışıma karakteristikleri $d = 10$ mm yapısına oldukça benzemekte olup temel anten ile karşılaştırma için elektriksel boyut küçültmenin en fazla elde edildiği $d = 10$ mm parametresine sahip anten seçilmiştir. Şekil 3'te temel antenin yönlülüğünün $d = 10$ mm değerine sahip TAHR-D antenine göre daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Bunun sebebi TAHR-D yapısına sahip antenlerde toprak düzlemindeki yapının da ışıma elemanı gibi davranması ve böylece arkaya ışıma gerçekleşmesi olarak açıklanabilir. Çizelge 3'te, detaylı olarak incelenmiş olan yapıların nümerik analiz sonuçları toplu olarak verilmiştir.



Şekil 3: Işıma örüntüsü grafikleri (a) E-düzlemi (b) H-düzlemi

Çizelge 3: Farklı d değerleri için benzetim sonuçları

d (mm)	f_0 (GHz)	$ S_{11} $ (dB)	G (dB)	ka	%EBK
-10	2,45	-37,37	6,63	1,60	0
-5	2,41	-60,19	6,45	1,49	1,63
0	1,01	-22,33	-9,39	0,59	58,77
5	1,43	-32,89	3,67	0,83	41,63
8	1,36	-32,47	3,20	0,79	44,49
10	1,33	-36,85	3,00	0,77	45,71
15	1,34	-35,54	3,05	0,78	45,31
17	1,38	-27,22	3,29	0,80	43,67
20	1,47	-31,95	3,72	0,85	40
Temel Ant.	2,45	-37,78	6,47	1,42	0

4. Tartışma

Bu çalışmada TAHR-D kavite tipi BTY yapısı içeren mikroşerit anten tasarımı gerçekleştirilmiş ve mikroşerit yama antenin yama kısmının boyutunda değişiklik yapılmadan TAHR-D yapısının dikey olarak konumunun değiştirilmesinin rezonans frekansını etkilemesine bağlı olarak elektriksel boyutu küçültmeye etkisi incelenmiştir. Bu kaydırma değerlerinin içinden seçilen -10, -5, 0, 5, 8, 10, 15, 17, 20 mm değerlerinin detaylı analizleri yapılarak temel anten parametrelerine etkileri incelenmiştir. Yapıların her biri için beslemenin girinti değeri y_0 anten ile hattın empedansını uygunlaştırmak adına parametrik olarak hesaplanmıştır. TAHR-D yapısının yamanın toprak düzlemindeki izdüşümüne karşılık geldiği değerler için elektriksel boyutta düşüş olduğu gözlenmiştir. Yamanın izdüşümünün dışındaki

değerlerde elektriksel boyutta azalma olmamıştır. TAHR-D yapısının yamanın üst noktasına uzaklığını belirten parametre olan d parametresinin değeri 10 mm iken 2,45 GHz rezonans frekansından 1,33 GHz frekansına kadar %45,71 oranında elektriksel boyut küçültme ve 3 dB değerinde kazanç elde edilmiştir. Bu anten için ka değeri 0,77'dir. d nin değeri 5 mm iken %41,63 oranında elektriksel boyut küçültme sağlanırken 3,67 dB değerinde kazanç gözlenmiştir ve bu anten için ka değeri 0,83'tür. Yapılan tasarım ile TAHR-D tipi BTY yapısına sahip antenlerin klasik mikroşerit yama antenlere göre daha küçük boyuta ve azaltılan rezonans frekansına sahip olmaları başlıca avantajlarıdır. Elektriksel boyut küçültmenin yanı sıra, bu antenlerin kablosuz uygulamalar için uygun kazanç değerine sahip olduğu gözlenmiştir.

5. Teşekkür

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen 4085-YL1-14 numaralı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

6. Kaynaklar

- [1] Handbook of Microstrip Antennas, Peter Peregrinus Ltd. on behalf of IET, London, U.K., 1989, s. 4-8.
- [2] M. Ramazan and K. Topalli, "A miniaturized patch antenna by using a CSRR loading plane," *Int. J. Antennas Propag.*, Cilt 2015, s. 1-9, 2015.
- [3] L. Desclos, Y. Mahe, S. Reed, G. Poilasne, S. Toutain, "Patch antenna size reduction by combining inductive loading and short-points technique" *Microw. Opt. Technol. Lett.*, Cilt 30, no. 6, s. 385-386, Eylül 2001.
- [4] O. Homayoon, R. Bahram, "Dual-banding and miniaturization of planar triangular monopole antenna by inductive and dielectric loadings," *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, Cilt12, s. 1594-1597, 2013.
- [5] P. M. T. Ikonen, K. N. Rozanov, A. V. Osipov, P. Alitalo, S. A. Tretyakov, "Magnetodielectric substrates in antenna miniaturization: potential and limitations," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, Cilt 54, no. 11, s. 3391-3399, Kasım 2006.
- [6] A. Erentok and R. W. Ziolkowski, "Metamaterial-inspired efficient electrically small antennas," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, Cilt 56, no. 3, s. 691-707, Mart 2008.
- [7] M. Li, M. Lu and T.J. Cui, "Novel miniaturized dual band antenna design using complementary metamaterial," *Int. Workshop Metamaterials*, Nanjing, China, 2008, s. 374-376.
- [8] M. M. Bait-Suwailam, H. M. Al-Rizzo, "Size reduction of microstrip patch antennas using slotted complementary split-ring resonators," *Int. Conf. Technol. Advances Electr. Electron. Comput. Eng. (TAECE)*, Konya, Türkiye, 2013, s. 528-531.
- [9] V. Rajeshkumar, S. Raghavan, "A compact CSRR loaded dual band microstrip patch antenna for wireless applications," *IEEE Int. Conf. on Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC)*, Enathi, Madurai, Tamilnadu, India, 2013, s. 1-4.
- [10] S. I. Rosaline, S. Raghavan, "CSRR-based compact penta band printed antenna for GPS/GSM/WLAN/WiMAX applications," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, Cilt 57, no. 7, s. 1538-1542, Temmuz 2015.
- [11] R. Pandeewari, S. Raghavan, "Microstrip antenna with complementary split ring resonator loaded ground plane for gain enhancement," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, Cilt 57, no. 2, s. 292-296, Şubat 2015.
- [12] F. Li, Y. C. Jiao, L. S. Ren, J. G. Gong, B. Chen, "Compact double T-shaped slots antenna with a rectangular patch for bandwidth enhancement," *9th Int. Symp. Antennas Propag. EM Theory (ISAPE)*, Guangzhou, China, 2010, s. 286-288.
- [13] H. Elftouh, N. A. Touhami, M. Aghoutane, S. El Amrani, A. Tazon, M. Boussouis, "Miniaturized microstrip patch antenna with defected ground structure," *Prog. Electromagn. Res.*, Cilt 55, s. 25-33, 2014.
- [14] U. Chakraborty, S. K. Chowdhury, A. K. Bhattacharjee, "Frequency tuning and miniaturization of square microstrip antenna embedded with T-shaped defected ground structure," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, Cilt 55, no. 4, s. 869-872, Nisan 2013.
- [15] P. R. Prajapati, A. Patnaik and M. V. Kartikeyan "Design and characterization of an efficient multi-layered circularly polarized microstrip antenna," *Int. J. Microw. Wirel. Technol.*, s.1-9, Nisan 2015.
- [16] B. R. S. Reddy and D. Vakula, "Compact zigzag-shaped-slit microstrip antenna with circular defected ground structure for wireless applications," *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, Cilt 14, s. 678-681, 2015.
- [17] C. Garg and M. Kaur, "A review of defected ground structure (DGS) in microwave design," *Int. J. Innov. Res. Electr. Electron. Instrum. Control Eng.*, Cilt 2, no. 3, s. 1285-1290, Mart 2014.
- [18] C. Kumar, M. I. Pasha, D. Guha, "Microstrip patch with nonproximal symmetric defected ground structure (DGS) for improved cross-polarization properties over principal radiation planes," *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, s. 1412-1414, 2015.
- [19] C. Kumar and D. Guha, "Reduction in cross-polarized radiation of microstrip patches using geometry-independent resonant-type defected ground structure (DGS)," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, Cilt 63, no. 6, s. 2767-2771, Haziran 2015.