



LİNEER VE DAİRESEL POLARİZASYON DÖNÜŞÜM PERFORMANSI GÖSTEREN X- VE KU-BAND POLARİZASYON DÖNÜŞTÜRÜCÜ

Yunus KAYA^{1*}

¹*Elektrik ve Enerji Bölümü, Bayburt Üniversitesi, Bayburt 69000, Türkiye*

**ykaya@bayburt.edu.tr Başlıca yazarın mail adresi*

Özet – Bu çalışmada, geometrik optimizasyon gerçekleştirilerek X- (8–12 GHz) ve Ku-band (12–18 GHz) mikrodalga frekanslarındaki uygulamalar için lineer ve dairesel polarizasyon dönüşüm performans özelliği gösteren metayüzey tabanlı bir polarizasyon dönüştürücü tasarlanmıştır. Önerilen tasarım tek katmanlı olarak metayüzey bakır–dielektrik alttaşı–bakır yüzey uyarlamasından oluşmaktadır. Tasarım ve benzetimlerde sonlu entegrasyon tekniği (Finite Integration Technique, FIT) kullanan 3-boyutlu bir benzetim programı kullanılmıştır. Bu benzetim programı ile gerçekleştirilen benzetimlerden edinilen verilere göre önerilen nihai tasarım ilk olarak, 9.13–9.61 GHz ve 13.32–14.58 GHz frekans aralıklarında %90’dan fazla polarizasyon dönüşüm oranı (Polarization Conversion Ratio, PCR) ile lineer polarizasyon dönüşüm performansı göstermektedir. İkinci olarak, önerilen tasarım için 10.51–11.89 GHz frekans aralığında eliptiklik (ellipticity, e) değeri $e = -1$ ’dir ve sol-elli dairesel polarizasyon (Left-Handed Circular Polarization, LHCP) dönüşüm özelliği göstermektedir. Son olarak ise önerilen tasarım için 15.66–16.03 GHz frekans aralığında da $e = +1$ ’dir ve sağ-elli dairesel polarizasyon (Right-Handed Circular Polarization, RHCP) dönüşüm özelliği göstermektedir.

Anahtar Kelimeler – PCR, Eliptiklik, X-Band, Ku-Band, Polarizasyon Dönüşümü

I. GİRİŞ

Kablosuz [1] ve optik haberleşme [2], radar kesit alanı azaltma [3], yüksek çözünürlüklü görüntüleme [4] ve spektroskopi tanılama [5] gibi pek çok uygulamada polarizasyon dönüştürücüler hayati bir öneme sahiptir. Fakat geleneksel olarak kullanılan polarizasyon dönüştürücüler (çift kırınımlı kristaller, dikroik camlar ve sıvı kristaller vs.) mikro optik sistemlere uygulanmalarını önleyen geniş kalınlık ve dar bant genişliği gibi dezavantajlara sahiptir [6]. Son zamanlarda bu dezavantajları ortadan kaldırmak üzere geleneksel polarizasyon dönüştürücülerden ziyade metayüzey-tabanlı polarizasyon dönüştürücüler önerilmektedir [6], [7]. İletim [8] veya yansıma modlu [9], tek [10] ya da çok katmanlı [11] olarak tasarlanan bu

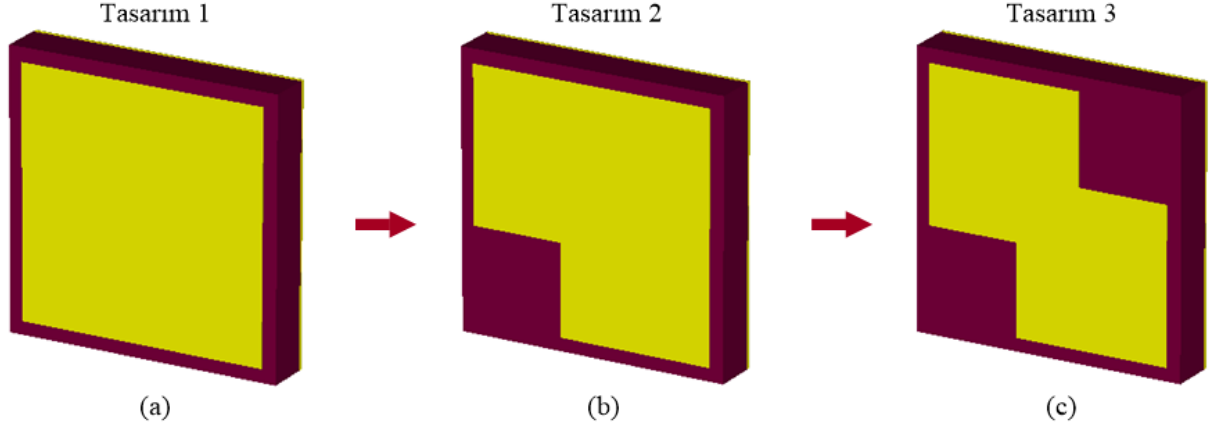
metayüzey-tabanlı polarizasyon dönüştürücüler lineer [12], dairesel [13] veya hem lineer hem de dairesel [7], [10] polarizasyon dönüşümünü bir veya daha fazla mikrodalga frekans bantlarında gerçekleştirmektedirler.

Bu çalışmada da yansıma modlu, tek katmanlı metayüzey-tabanlı bir polarizasyon dönüştürücü tasarımı geometrik optimizasyon ile sonlu entegrasyon tekniği (Finite Integration Technique, FIT) kullanan 3-boyutlu bir benzetim programı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak önerilen polarizasyon dönüştürücü tasarımıyla mikrodalga X- ve Ku-bantlarında lineer ve dairesel polarizasyon dönüşüm performansları beraber elde edilmiştir.

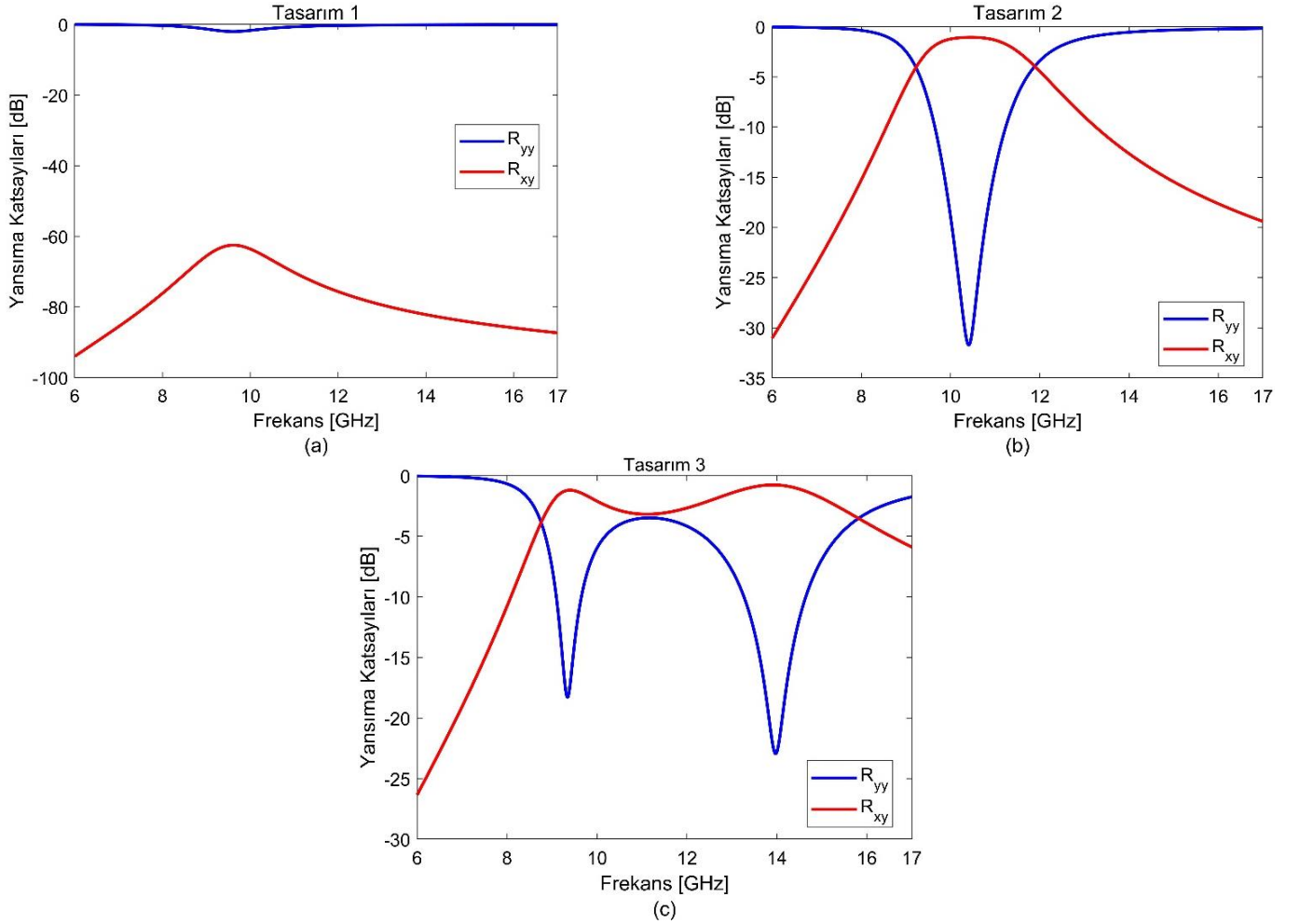
II. GEOMETRİK OPTİMİZASYON İLE ÖNERİLEN DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN TASARIMI

Önerilen tek katmanlı yansıma modlu metayüzey polarizasyon dönüştürücüyü tasarlamak için 3-boyutlu elektromanyetik simülasyon programı CST Microwave Studio kullanılmıştır. FR-4 alttaş malzemesinin ön tarafı metayüzey şekilli bakır ve

arka tarafı da tamamen bakır yüzey ile kaplanmıştır. Daha sonra 3-aşamalı bir geometrik optimizasyon gerçekleştirilmiş ve benzetimlerden elde edilen sonuçlara göre gelen y-polarize dalga için elde edilen eş (R_{yy}) ve çapraz yansıma katsayıları (R_{xy}) değerlendirilerek nihai tasarıma karar verilmiştir [7].

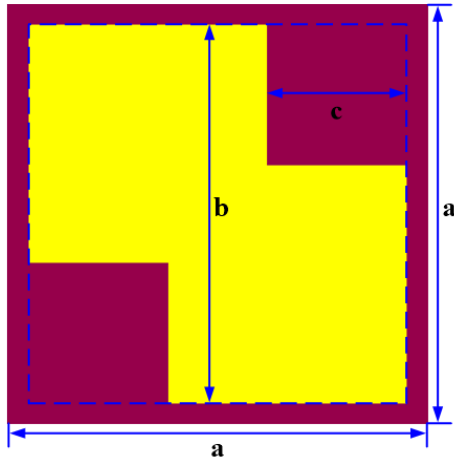


Şekil 1. Nihai tasarıma ulaşmak için gerçekleştirilen 3-aşamalı geometrik optimizasyon: (a) Tasarım 1, (b) tasarım 2 ve (c) tasarım 3



Şekil 2. Geometrik optimizasyonda yer alan (a) tasarım 1, (b) tasarım 2 ve (c) tasarım 3'e karşılık elde edilen R_{yy} ve R_{xy} yansıma katsayıları

İlk olarak Şekil 1(a)'da gösterildiği gibi kare bir metayüzey oluşturulmuş ve bu tasarıma karşılık yansıma katsayıları Şekil 2(a)'da gösterilmiştir. Şekil 2(a) incelendiğinde herhangi bir polarizasyon dönüşüm ibaresi (rezonans) görülmemiştir. Bu yüzden Şekil 1(a)'daki tasarımın sol alt köşesinden kare şekilli bir yüzey çıkarılmış ve Şekil 1(b)'deki tasarım oluşturulmuştur. Şekil 1(b)'deki tasarıma karşılık Şekil 2(b)'deki yansıma katsayıları incelendiğinde 10.411 GHz frekansında rezonans görülmüştür. Bu polarizasyon dönüşüm ibaresine ek olarak polarizasyon dönüşüm frekansını genişletmek ve polarizasyon türünü artırmak için Şekil 1(b)'deki tasarımın sağ üst köşesinden kare şekilli bir yüzey daha çıkarılarak Şekil 1(c)'deki tasarım oluşturulmuştur. Şekil 1(c)'deki tasarıma karşılık Şekil 2(c)'deki yansıma katsayıları



Şekil 3. Geometrik optimizasyon sonrası karar verilen nihai tasarım geometrisi

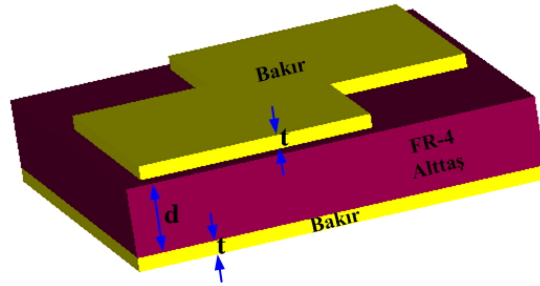
Ayrıntılı olarak Şekil 3'teki nihai tasarım incelendiğinde; alttaş malzemesi olarak piyasada rahatlıkla ve ucuz bir şekilde bulunabilen kısmi dielektrik sabiti $\epsilon_r = 4.3$ ve kayıp tanjantı $\tan\delta = 0.025$ olan FR-4 kullanılmıştır. Kare şeklinde kullanılan FR-4'ün bir kenarı $a = 6$ mm ve kalınlığı da $d = 1$ mm'dir. FR-4'ün ön ve arka tarafında kullanılan bakır malzemesinin iletkenliği $\sigma = 5.8 \times 10^7$ S/m ve kalınlığı ise $t = 0.035$ mm'dir. Polarizasyon dönüştürücünün ön tarafındaki metayüzey şekli ise bir kenarı $b = 5.4$ mm olan kare şeklindeki yapıdan bir kenarı $c = 2$ mm olan iki tane eş kare şeklindeki yapının çıkarılması ile oluşturulmuştur.

III. LİNEER VE DAİRESEL POLARİZASYON DÖNÜŞÜM PERFORMANSI ANALİZİ

Önerilen polarizasyon dönüştürücünün lineer ve dairesel polarizasyon dönüşüm performansını değerlendirmek için bazı analizler yapmak

incelendiğinde 9.344 GHz ve 13.975 GHz'de iki rezonans meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca X- (8–12 GHz) ve Ku-bantlarında (12–18 GHz) meydana gelen bu rezonanslar, mikrodalga X- ve Ku-bantlarında polarizasyon dönüşümünün sağlandığı anlamına gelmekte olup Şekil 2(c)'ye bakıldığında rezonans frekanslarında R_{xy} 'nin de -3 dB civarında olduğu görülmektedir.

Buna göre gerçekleştirilen geometrik optimizasyonla mikrodalga X- ve Ku-bantlarında polarizasyon dönüştürücü performansı gösteren, Şekil 1(c)'de geometrik şekli ve Şekil 2(c)'de de yansıma katsayıları verilen tasarıma karar verilmiştir. Bu tasarıma ait boyutlandırma ve katmanlara ait 3-boyutlu tasarım görseli de Şekil 3'te ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



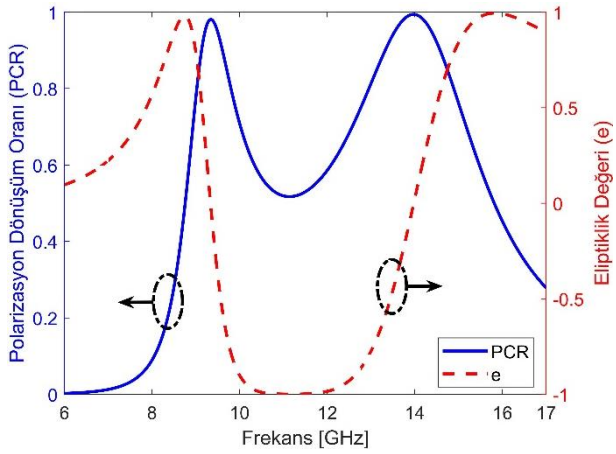
gereklidir. Bu analizlerden ilkinin lineer polarizasyon performansını değerlendirmek için yapacak olursak; polarizasyon dönüşüm oranı (Polarization Conversion Ratio, PCR) aşağıdaki formül yardımıyla bulunur [3], [7], [9], [12].

$$PCR = \frac{|R_{xy}|^2}{|R_{xy}|^2 + |R_{yy}|^2} \quad (1)$$

Denklem (1)'den hesaplanan oranın 1 olması, lineer dönüşümün %100 gerçekleştiği anlamına gelir. Yani PCR değeri 1 olduğunda y-polarize gelen dalga x-polarize olarak yansıtılmaktadır. Polarizasyon dönüştürücünün dairesel polarizasyon performansını değerlendirmek için ise eliptiklik (ellipticity, e) değerini aşağıdaki formül yardımıyla hesaplamak gerekmektedir [7].

$$e = \frac{2|R_{xy}||R_{yy}|\sin\Delta\phi}{|R_{xy}|^2 + |R_{yy}|^2} \quad (2)$$

Denklem (2)'de ϕ , R_{yy} ve R_{xy} yansıma katsayılarının faz farkı olmak üzere $e = +1$ olduğunda sağ-elli dairesel polarizasyon (Right-Handed Circular Polarization, RHCP) ve $e = -1$ olduğunda ise sol-elli dairesel polarizasyon (Left-Handed Circular Polarization, LHCP) dönüşümü olduğu anlamına gelmektedir. Buna göre Şekil 2(c)'de nihai polarizasyon dönüştürücü tasarımından elde edilen R_{yy} ve R_{xy} yansıma katsayıları ile yansıma katsayılarından elde edilen ϕ faz farkı Denklem (1) ve (2)'de uygulanmış ve 6–17 GHz frekans aralığı boyunca PCR ve e değerleri Şekil 4'teki gibi elde edilmiştir.



Şekil 4. Önerilen polarizasyon dönüştürücünün PCR ve e değerleri

Şekil 4 incelendiğinde mikrodalga X- ve Ku-bantları boyunca lineer ve dairesel polarizasyon dönüşüm frekans aralıkları belirlenmiş ve Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Önerilen polarizasyon dönüştürücünün lineer ve dairesel polarizasyon dönüşüm frekans aralıkları hakkında özet bilgiler

Lineer Polarizasyon (PCR > %90)	Dairesel polarizasyon	
	LHCP ($e = -1$)	RHCP ($e = +1$)
9.13–9.61 GHz 13.32–14.58 GHz	10.51–11.89 GHz	15.66–16.03 GHz

IV. SONUÇ

Bu çalışmada mikrodalga X- ve Ku-bantlarında lineer ve dairesel polarizasyon dönüşüm performansını beraber gösteren metayüzey-tabanlı bir polarizasyon dönüştürücü tasarımı gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen tasarım, iki frekans bandı boyunca (X-bandında; 9.13–9.61 GHz [0.48 GHz genişliğinde] ve Ku-bandında; 13.32–14.58 GHz [1.26 GHz genişliğinde]) lineer polarizasyon dönüşümü ve iki frekans bandı

boyunca da (X-bandında; 10.51–11.89 GHz [1.38 GHz genişliğinde] (LHCP) ve Ku-bandında; 15.66–16.03 GHz [0.37 GHz genişliğinde] (RHCP)) dairesel polarizasyon dönüşüm performansı özelliği göstermektedir. Ayrıca tasarım hem lineer hem de dairesel polarizasyon dönüşüm performansı göstermesinin yanında 1 mm alttaş kalınlığı (λ cinsinden 0.03λ), kolay erişilebilir ve ucuz FR-4 alttaş cinsi ile de dikkat çekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] M. R. Andrews, P. P. Mitra, and R. deCarvalho, "Tripling the capacity of wireless communications using electromagnetic polarization," *Nat.*, vol. 409, no. 6818, pp. 316–318, Jan. 2001.
- [2] Y. Han and G. F. Li, "Coherent optical communication using polarization multiple-input-multiple-output," *Opt. Express*, vol. 13, no. 19, pp. 7527–7534, Sep. 2005.
- [3] E. Ameri, S. H. Esmali, and S. H. Sedighy, "Ultra wideband radar cross section reduction by using polarization conversion metasurfaces," *Sci. Rep.*, vol. 9, art. no. 478, Jan. 2019.
- [4] A. Arbabi, Y. Horie, M. Bagheri, and A. Faraon, "Dielectric metasurfaces for complete control of phase and polarization with subwavelength spatial resolution and high transmission," *Nat. Nanotechnol.*, vol. 10, no. 11, pp. 937–943, Nov. 2015.
- [5] S. Beychok, "Circular dichroism of biological macromolecules: Circular dichroism spectra of proteins and nucleic acids provide insights into solution conformations," *Sci.*, vol. 154, no. 3754, pp. 1288–1299, Dec. 1966.
- [6] X. J. Huang, H. L. Yang, D. H. Zhang, and Y. Luo, "Ultrathin dual-band metasurface polarization converter," *IEEE Trans. on Antennas Propag.*, vol. 67, no. 7, pp. 4636–4641, Jul. 2019.
- [7] Y. Kaya, "Cheaper, wide-band, ultra-thin, and multi-purpose single-layer metasurface polarization converter design for C-, X-, and Ku-band applications," *Symmetry*, vol. 15, no. 2, art. no. 442, Feb. 2023.
- [8] A. K. Fahad, C. J. Ruan, S. A. K. M. Ali, R. Nazir, T. Ul Haq, and W. L. He, "Triband ultrathin polarization converter for X/Ku/Ka-band microwave transmission," *IEEE Microw. and Wirel. Compon. Lett.*, vol. 30, no. 4, pp. 351–354, Apr. 2020.
- [9] B. A. Babu, B. T. P. Madhav, S. Das, N. Hussain, S. S. Ali, and N. Kim, "A triple-band reflective polarization conversion metasurface with high polarization conversion ratio for ISM and X-band applications," *Sens.*, vol. 22, no. 21, art. no. 8213, Nov. 2022.
- [10] F. Ahmed, M. I. Khan, and F. A. Tahir, "A multifunctional polarization transforming metasurface for C-, X-, and K-band applications," *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 20, no. 11, pp. 2186–2190, Nov. 2021.
- [11] Y. Tian, L. C. Han, L. Yan, J. Y. Wang, B. Z. Zhang, and Z. Jiao, "Optically-controlled terahertz

- multifunctional polarization conversion metasurface with reflection and transmission modes,” *Micromachines*, vol. 13, no. 9, art. no. 1387, Sep. 2022.
- [12] Z. L. Mei, X. M. Ma, C. Lu, and Y. D. Zhao, “High-efficiency and wide-bandwidth linear polarization converter based on double U-shaped metasurface,” *AIP Adv.*, vol. 7, no. 12, art. no. 125323, Dec. 2017.
- [13] X. Gao, X. Y. Yu, W. P. Cao, Y. N. Jiang, and X. H. Yu, “Ultra-wideband circular-polarization converter with micro-split Jerusalem-cross metasurfaces,” *Chinese Phys. B*, vol. 25, no. 12, art. no. 128102, Dec. 2016.