

## Modifiye Tamamlayıcı Yarıkli Elektrik Alan Bağlaşık Rezonatörler ile Yama Antenler Arasında Karşılıklı Bağlaşım Azaltma

Hayrettin Odabaşı, Göksel Turan  
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Eskişehir  
hodabasi@ogu.edu.tr, goksel\_turan@outlook.com

**Özet:** Bu çalışmada modifiye tamamlayıcı yarıkli elektrik alan bağlaşık rezonatör (MTYER) ile yama antenler arasında karşılıklı bağlaşım azaltma sunulmuştur. 2.47 GHz frekans bandında çalışan MTYER birim hücreleri 2×3 dizi halinde, aralarında kenara 0.35λ merkezden merkeze 0.52λ mesafe bulunan eř düzlemlı H düzlemsel bağlaşımlı yama antenlerin arasına yerleştirilmiştir. Tasarımın kompakt olması amacıyla geleneksel tamamlayıcı yarıkli elektrik alan bağlaşık rezonatör (TYER) modifiye edilerek boyutu küçültülmüştür. Manyetik rezonans oluşturan MTYER dizisi sayesinde simülasyonda 18 dB, ölçümde 15 dB'lik bir karşılıklı bağlaşım düşümü elde edilmiştir. Tasarımın toplam boyutu  $\lambda \times 0.48\lambda$  olup toprak düzleminde herhangi bir değişiklik yapılmamış ve antenin ışma karakteristiğini tamamen korunmuştur. Bu özellikleriyle dizi anten uygulamaları ve mikrodalga devrelerinde kullanılmaya uygundur.

**Abstract:** In this study, mutual coupling reduction between the patch antennas with the modified slotted complementary electric field coupled resonator (SCELC) is presented. SCELC unit cells operating at 2.47 GHz were placed in 2×3 array between the H-plane coupled patch antennas, with 0.35λ from edge to edge and 0.52λ from center to center distance. The conventional complementary electric field coupled resonator (CELC) is reduced in size for compact design. Thanks to the SCELC array, mutual coupling reduction of 18 dB in simulation and 15 dB in measurement is achieved. The total size of the structure is  $\lambda \times 0.48\lambda$  with no ground plane modification. The antenna has completely preserved its radiation characteristics. With all these features, it is suitable for use in array antenna applications and microwave circuits.

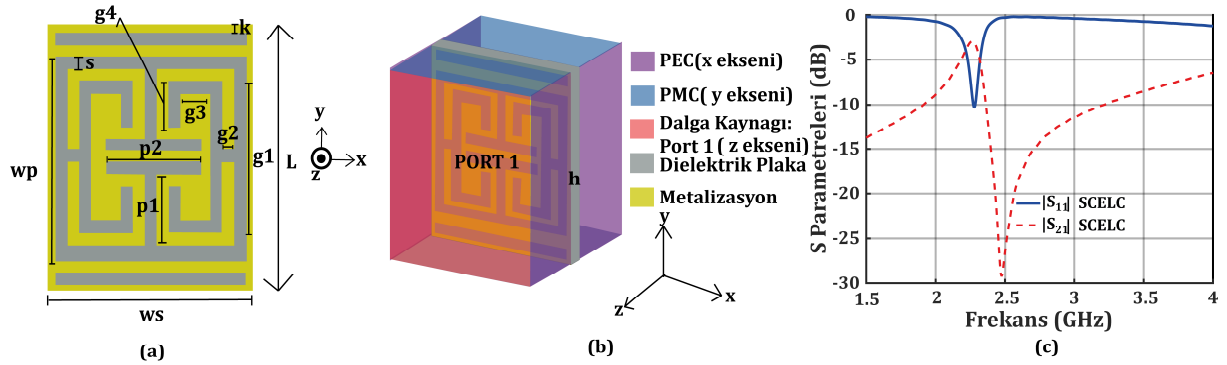
### 1. Giriş

Çoklu anten sistemleri günümüzdeki kablosuz iletişim uygulamalarının vazgeçilmez parçasıdır. Her geçen gün önemleri artmakla birlikte mikrodalga-milimetre dalga görüntüleme, uydu iletişimi, baz istasyonları gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Çoklu anten sistemlerinin bu kadar popüler olmalarında en önemli katkıyı mikrodalga devrelere uygulanabilirlikleri, kolay imal edilebilmeleri, çoğu düzleme uyumlanabilmeleri yama antenlerin gelişimi sağlamıştır [1]. Günümüzde çoklu anten uygulamalarının çoğunda yama antenler kullanılmaktadır. Yama antenlerle üretilen çoklu anten uygulamaları içlerinde birçok zorluk barındırır. İki veya daha fazla anten çok yakın yerleştirildiğinde aralarında yakın alan ve uzay dalgaları nedeniyle elektromanyetik bağlaşım ortaya çıkar, sonucunda ise antenin ışma karakteristiğinde bozulmalar ve çalışma frekansında kaymalar meydana gelebilir [2]. Literatürde bu zorlukları aşmak için elektromanyetik bant aralığı (EBA) yapıları, bozulmuş toprak yapısı (BTY) ve metamalzeme ekleme gibi çeşitli yöntemler kullanılmıştır. EBA kullanımı karşılıklı bağlaşım azaltmada iyi bir yöntem olsa da karmaşıklık oluşturan çivi içirme ve büyük boyutlara sahip olma gibi dezavantajlar barındırmaktadır [3-4]. EBA hücrelerinin yanı sıra BTY yapıları da karşılıklı bağlaşımı iyi seviyede azaltmaktadırlar fakat toprak düzleminde değişiklik yapıldığından yayılım karakteristiğinde bozulmalara neden olurlar [5-6]. Metamalzemeler ise sahip oldukları dalga boyu altı boyutları ve elektrik ve manyetik alan tarafından uyarılabilme gibi [7] özellikleri sayesinde karşılıklı bağlaşımı düşürme amacıyla birçok çalışmada kullanılmışlardır [8-10]. Ancak, çoğunlukla BTY gibi toprak düzlemine eklenmeleri nedeniyle devre tabanlı mikrodalga uygulamalarında çeşitli problemlere yol açabilirler.

Bu çalışmada, H- düzleminde bağlaşımlı yama antenler arasına 2×3 dizi halinde MTYER eklenecek elektromanyetik bağlaşım düşürümü elde edilmiştir. Geleneksel TYER metamalzemeler manyetik rezonans oluştururlar [7]. Bu sayede H- düzleminde bağlaşımlı dizi yama antenler arasında taban malzemenin üst düzlemine uygulanarak benzetim ortamında 18 dB ve ölçümde 15dB'lik yüksek miktarda karşılıklı bağlaşım düşürümü elde edilmiştir. Ayrıca toprak düzleminde herhangi bir değişikli yapılmadığı için, ışma karakteristiğinde meydana gelebilecek bozulmaların önüne geçilmiştir.

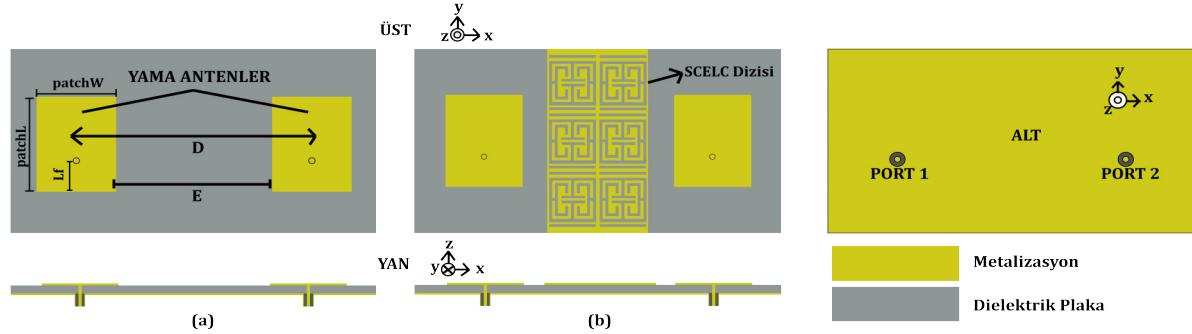
## 2. Anten Tasarımı ve Elektromanyetik Bağlaşım Azaltma

Şekil 1 (a)'da MTYER birim hücre konfigurasyonu ile mm cinsinden tasarım parametreleri şekil altyazısına eklenmiş olarak gösterilmektedir. Birim hücre ve antenler 1.6 mm kalınlığında, 4.2 dielektrik sabitli, 0.025 kayıp tanjantlı ucuz fiyatlı FR-4 üzerine tasarlanmıştır. Geleneksel TYER boyutları bu frekanslarda büyük olup sistemin kompaktlığı için dezavantaj oluşturacağından iç yapısına ek yollar eklenerek TYER'nin boyutu küçültülmüştür. Sonradan eklenen yarıklar sayesinde de karşılıklı bağlaşım azaltmaya çalışılırken çalışma frekansında oluşan küçük kaymalar tamamen engellenmiştir. H- düzleminde bağlaşımli antenlere etki etmek amacıyla oluşturulan benzetim modeli Şekil 1(b)'de gösterilmektedir. x-ekseni mükemmel elektrik iletken (PEC), y-ekseni mükemmel manyetik iletken (PMC) ve z-ekseni ise sinyal gönderim portu olarak belirlenmiştir. Önerilen birim hücre manyetik rezonans meydana getirir. Şekil 1(c)'de birim hücrenin 2.47 GHz bandındaki izolasyon karakteristiği açıkça görülmektedir. Burada tasarlanan birim hücrelerin boyutları yama antenlerin rezonans frekansı ile aynı olacak şekilde optimize edilerek elde edilmiştir.



Şekil 1. (a) MTYER birim hücre konfigurasyonu ( $w_p=13.57$ ,  $w_s=14.34$ ,  $p_1=4.49$ ,  $p_2=7.19$ ,  $g_1=10.42$ ,  $g_2=0.66$ ,  $g_3=1.95$ ,  $g_4=3.29$ ,  $k=0.385$ ,  $s=1.01$ ,  $L=17.9$ ,  $h=1.6$ ). (b) Benzetim modeli. (c) S parametreleri

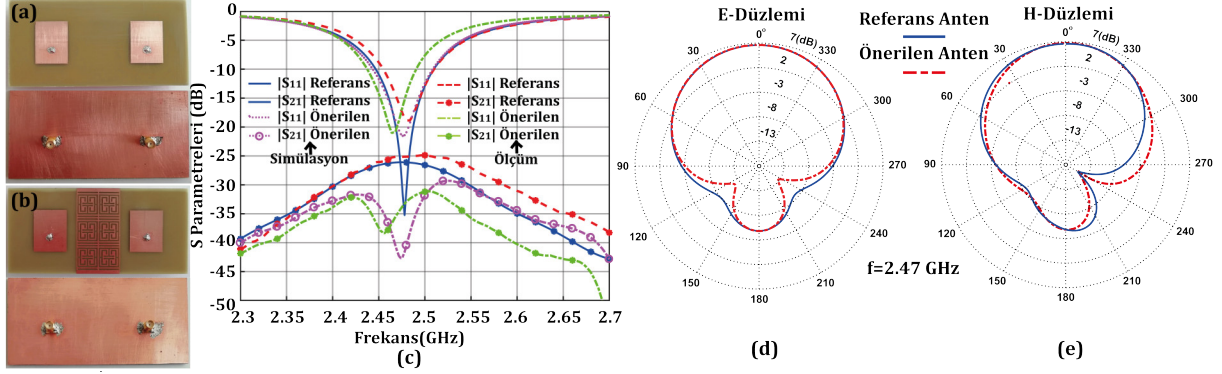
Şekil 2'de elektromanyetik bağlaşımı azaltma çalışması için tasarlanan referans yama anten dizisi görülmektedir. Antenlerin arasında merkezden merkeze  $D=63.4$  mm ( $0.52\lambda$ ) ve kenardan kenara  $E=41.8$  mm ( $0.34\lambda$ ) mesafe bulunmaktadır. Yama anten boyutları 2.45 GHz (Wi-Fi) frekansında çalışacak şekilde diğer parametreleri  $L_f=9.15$  mm,  $patchW=21.6$  mm ve  $patchL=28.3$  mm olarak seçilmiştir. Toplam boyutu  $120 \times 58$  mm'dir. Şekil 2'de manyetik alan düzleminde bağlaşık yama anten dizisi arasına eklenmiş, önerilen  $2 \times 3$ 'lük birim hücre dizisi görülmektedir. Referans anten ile önerilen antenin üretilmiş fotoğrafları Şekil 3(a,b)'de ve sonuçlar Şekil 3(c-d)'de gösterilmiş olup bir sonraki bölümde tartışılacaktır.



Şekil 2. (a) Referans anten. (b) Önerilen Anten (Alt düzlem iki anten için de aynıdır.).

## 3. Tartışma ve Sonuçlar

Referans anten ve önerilen anten benzetim sonuçlarını doğrulamak amacıyla üretilip test edilmiştir. Şekil 3(a) ve (b)'de sırasıyla üretilmiş referans ve önerilen antenler görülmektedir. Şekil 3(c), benzetim ve ölçüm sonuçlarının S parametreleri cinsinden karşılaştırılmalarını göstermektedir. Yama antenlerin dar bantlı olmalarına, dielektrik malzeme belirsizliğine ve oluşabilecek koaksiyel hat problemlerine rağmen benzetim ve ölçüm sonuçları birbirlerini yüksek seviyede doğrulamaktadır. Benzetim sonuçlarına göre rezonans frekansında maksimum 18 dB'lik bir karşılıklı bağlaşım iyileştirmesi sağlanmıştır. Ölçüm sonuçlarında da benzetim sonuçlarıyla benzer bir karakteristik ortaya çıkmış ve ölçümde 15 dB'lik bir karşılıklı bağlaşım azaltma elde edilmiştir. Öte yandan antenin rezonans frekansında ciddi bir kayma meydana gelmemiştir. Bu açıdan tasarlanan MTYER dizisi antenin ana karakterleri üzerinde ciddi bir değişikliğe neden olmamıştır.



Şekil 3. (a) Üretilmiş referans anten. (b) Üretilmiş önerilen anten. (c) S parametreleri karşılaştırmaları. (d) E düzlemi yayılım deseni karşılaştırmaları. (e) H düzlemi yayılım deseni karşılaştırmaları.

Şekil 3 (d) ve (e)'de iki temel düzlem için benzetimi yapılmış ışınım karakteristikleri gösterilmektedir. Antenin toprak düzleminde herhangi bir modifikasyon yapılmadığından referans anten ve önerilen antenin yayılım karakteristiklerinin neredeyse aynı olduğu açıkça görülmüştür. Tüm bu sonuçlardan anlaşılmıştır ki önerilen anten H- düzleminde bağlaşımlı yama antenler arasındaki alanları etkileyerek karşılıklı bağlaşımlı azaltmıştır. Önerilen karşılıklı bağlaşımlı düşürümü tasarımı faz dizili anten ve çoklu girişli çoklu çıkışlı (ÇGÇÇ) anten uygulamalarında karşılıklı bağlaşımlı düşürümü için kullanılabilir.

#### 4. Bilgi ve Teşekkür

Ölçüm sonuçları için Prof. Dr. Özlem Aydın Çivi, Feza Turgay Çelik'e çok teşekkür ederiz.

#### Kaynaklar

- [1]. D. Guha ve Y. M. Antar, *Microstrip and printed antennas: new trends, techniques and applications*. John Wiley & Sons, 2011.
- [2]. M. M. Nikolic, A. R. Djordjevic, and A. Nehorai, "Microstrip antennas with suppressed radiation in horizontal directions and reduced coupling," *IEEE transactions on antennas and propagation*, cilt. 53, no. 11, s. 3469–3476, 2005.
- [3]. F. Yang ve Y. Rahmat-Samii, "Microstrip antennas integrated with electromagnetic band-gap (ebg) structures: A low mutual coupling design for array applications," *IEEE transactions on antennas and propagation*, cilt. 51, no. 10, s. 2936–2946, 2003.
- [4]. E. Rajo-Iglesias, O. Quevedo-Teruel, ve L. Inclan-Sanchez, "Mutual coupling reduction in patch antenna arrays by using a planar ebg structure and a multilayer dielectric substrate," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, cilt. 56, no. 6, s. 1648–1655, 2008.
- [5]. M. Salehi ve A. Tavakoli, "A novel low mutual coupling microstrip antenna array design using defected ground structure," *AEU-International Journal of Electronics and communications*, cilt. 60, no. 10, s. 718–723, 2006.
- [6]. S. Xiao, M.-C. Tang, Y.-Y. Bai, S. Gao, ve B.-Z. Wang, "Mutual coupling suppression in microstrip array using defected ground structure," *IET microwaves, antennas & propagation*, cilt. 5, no. 12, s. 1488–1494, 2011.
- [7]. Schurig, D. R. S. D., J. J. Mock, ve D. R. Smith. "Electric-field-coupled resonators for negative permittivity metamaterials." *Applied physics letters* 88.4 (2006): 041109.
- [8]. M. M. Bait-Suwailam, O. F. Siddiqui, ve O. M. Ramahi, "Mutual coupling reduction between microstrip patch antennas using slotted-complementary split-ring resonators," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, cilt. 9, s. 876–878, 2010.
- [9]. H.-X. Xu, G.-M. Wang, ve M.-Q. Qi, "Hilbert-shaped magnetic waveguided metamaterials for electromagnetic coupling reduction of microstrip antenna array," *IEEE transactions on magnetics*, cilt. 49, no. 4, s. 1526–1529, 2012.
- [10]. Z. Qamar, L. Riaz, M. Chongcheawchamnan, S. A. Khan, ve M. F. Shafique, "Slot combined complementary split ring resonators for mutual coupling suppression in microstrip phased arrays," *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, cilt. 8, no. 15, s. 1261–1267, 2014.