

Enerji Hasadı Uygulamalarında Metamalzeme

Emrullah Karakaya¹, Sultan Can², Cenk Mülazımoğlu¹, Fulya Bağcı¹, A. Egemen Yılmaz², Barış Akaoglu¹

¹Ankara Üniversitesi Fizik Mühendisliği Bölümü
Ankara

{emrullah.fizik, cenkmulazimoglu}@gmail.com, {fbagci, akaoglu}@eng.ankara.edu.tr,

²Ankara üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Ankara

sultancan@ankara.edu.tr, aeyilmaz@eng.ankara.edu.tr

Özet: Bu makalede son yıllarda yoğun ilgi gören metamalzemelerin enerji hasadı uygulamalarına yönelik tasarımları yapılmıştır. Çalışmada Wi-Max bandında yer alan 5.8 GHz frekansında elektromanyetik dalganın uygun tasarım ve uygun donanım ile tasarlanarak elektrik enerjisine dönüştürülmesi için iki farklı topoloji önerilmiştir. Aynı taban alanına sahip iki farklı yapının açığa bağımlılıkları hem yansıma parametresi hem de devre elemanı üzerinde harcanan güce olan etkisi bakımından incelenmiştir.

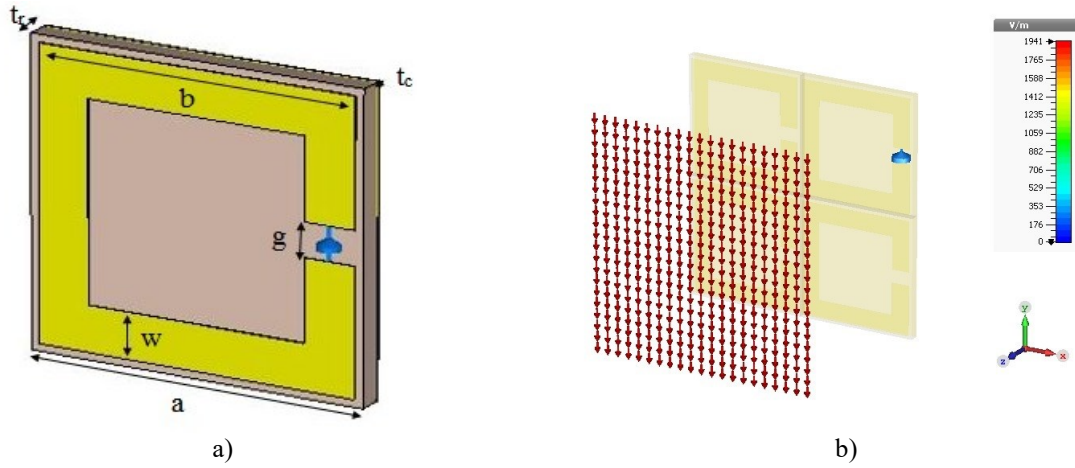
Abstract: In this study, metamaterial structures, which attract attention in recent years, have been proposed for energy harvesting applications. Wi-Max frequency band is considered and two topologies have been presented in order to harvest energy with proper design and hardware. Both two topologies having the same substrate dimension are analyzed in terms of incident angle dependency, scattering parameters and dissipated power.

1. Giriş

Enerjiyi hasat etme fikri insanoğlunun tarih boyunca üzerinde durduğu önemli konulardan biridir. Bunun için ilk verilebilecek örnek su çarklarıdır; su çarkları akan sudaki enerjiyi hasat eden bir sistemdir. Enerji hasadı esasında termik santrallerde ısı enerjisinin, hidroelektrik santrallerde kinetik enerjinin elektriğe dönüştürülmesi, güneş panellerinden elde edilen enerjiler makro enerji hasadı uygulamaları olarak adlandırılabilir [1]. Metamalzeme ile enerji hasadı uygulamaları ise mikro enerji hasadı uygulaması olarak göze çarpmaktadır. Uygulama alanları ise görece düşük güçte çalışabilen elektronik cihazlar olarak gösterilebilir, bu tip cihazlara örnek olarak giyilebilen elektronik ve kablosuz sensör ağları verilebilir [2]. Mikro hasat işlemlerinde kullanılan metamalzeme yapıları son zamanlarda ilgi odağı haline gelmiştir [2-4]. Metamalzemelerin kullanım alanlarından biri olan elektromanyetik (EM) dalga soğurma işlemlerinde soğurulan EM dalga bir doğrultucu devre yardımı ile doğru akıma çevrilir [3]. Ancak bu çalışmada yapıda soğurulan gücü göstermek amacı ile devre elemanı olarak sadece direnç kullanıldı. Yapıda hapsolan gücün aynı taban alanına sahip tek yarıkli kare halka yapı ve çift yarıkli kare halka yapılarında açığa bağımlı olarak ne kadarının direnç(ler) üzerinde harcadığı gösterilmiştir. Bu çalışmada havada serbest olarak dolaşan RF sinyallerinin elektrik enerjisi olarak kullanılabilceği gösterilmiştir.

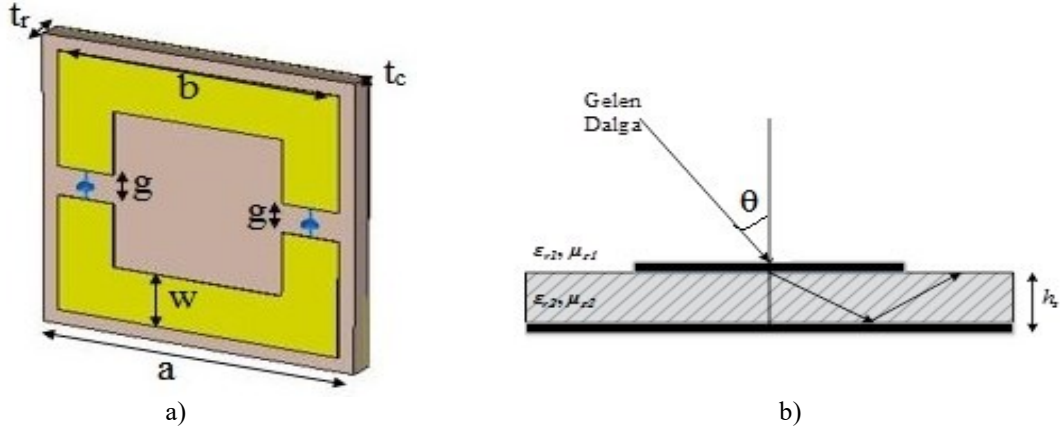
2. Kullanılan Metamalzeme Yapıları ve Sınır Koşulları

Kullanılan metamalzeme yapısı hasat işlemi için kullanılacağından, yapının üzerine düşen EM dalgayı ne kadar soğuracağı büyük önem arz etmektedir. Yapının üzerine gelen EM dalganın ne kadarını soğurduğunu frekansa bağlı bir şekilde veren denklem $A(w)=I-(R(w)+T(w))$ şeklindedir. Burada $A(w)$ soğurulan, $R(w)$ yansıyan ve $T(w)$ iletilen EM dalgayı ifade etmektedir. Metallerin plazma frekansı çok yüksek olduğundan RF bölgesi için çok iyi birer yansıtıcıdır, bunun için soğurucu tasarımında iletimi engellemek üzere yapının arka kısmına metalik yüzey yerleştirilir ve böylece iletim engellenmiş olur. Soğurma denklemimiz ise $A(w)=I-R(w)$ halini alır, bu denklem ise yapıda yansıma ne kadar az olursa soğurmanın, dolayısıyla hasat edilen enerjinin o kadar fazla olacağı ifade etmektedir. Şekil 1a'da verilen geometrik yapıda a, b, g, w, t_a, ve t_c sırasıyla 10mm, 9.5mm, 1.12mm, 1.5mm, 0.758mm ve 0.035 mm olarak belirlenirken direnç değeri ise R=9Ω olarak tanımlanmıştır. Benzetim ortamı olarak CST Microwave Studio kullanılmıştır. Şekil 2b'de görüldüğü gibi önerilen birim hücre yapısı elektriksel olarak uyarlmalıdır.



Şekil 1. a) Birim hücreye ait geometrik yapı, b) birim hücre sınır koşulları ve elektrik alan yönelimi

Yapıda t_r dielektrik katmanın kalınlığını, t_c ise ön ve arka yüzeydeki bakır plakaların kalınlığını göstermektedir. Dielektrik alt taş olarak $\epsilon_r=2.2$, $\mu=1$, $\tan\delta=0.0009$ değerlerine sahip Rogers RT5880 kullanılmıştır. Soğurucu yapılarda genellikle karmaşık dielektrik sabiti yüksek alt taş kullanılır ancak yapı enerji hasadı amaçlı ise ϵ_r ve $\tan\delta$ değerleri düşük alt taşlar kullanılmalıdır. Bu sayede yapıya gelen EM dalgadaki güç daha etkin bir şekilde yapıda bulunan devre elemanına aktarılır. Enerji hasadı uygulamalarında soğurucu yapılarda olduğu gibi gelen EM dalganın geliş açısı θ 'ya bağımlı olması önemli etkenlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır [4]. Bu çalışmada enerji hasat işleminin açıya bağımlılığı iki yapı üzerinden incelenmiştir. Bunlardan biri Şekil 1a'da görüldüğü gibi tek yarıkli kare halka şeklindedir, ikinci yapı ise birinci yapı ile aynı taban alanına sahip, çift yarıkli kare halka şeklindedir.

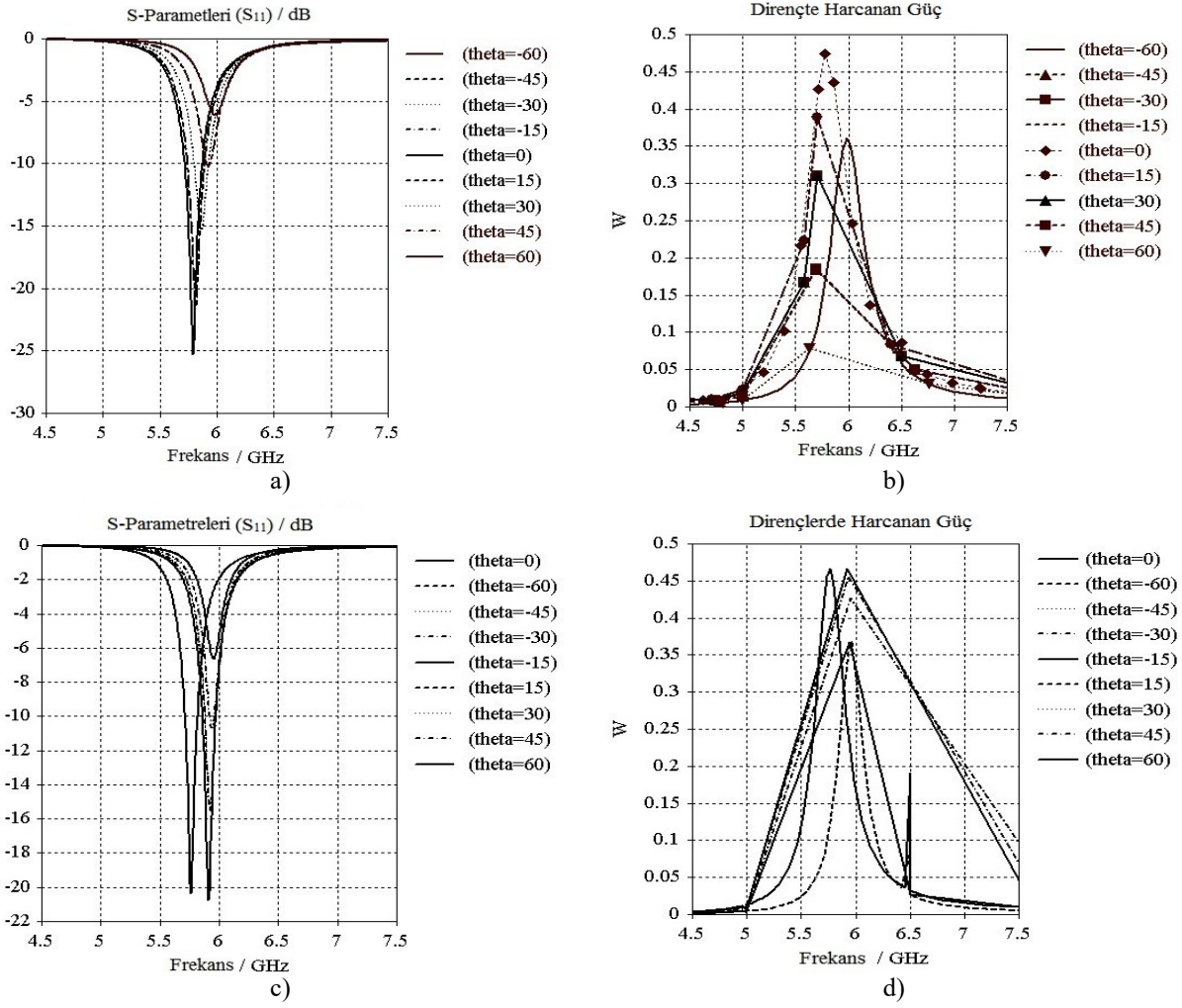


Şekil 2. a) Çift yarıkli kare halka yapının geometrisi b) Geliş açısı θ 'nın geometrik gösterimi

Şekil 2a'da ikinci tasarımın geometrik şekli verilmiştir. Burada a, b, g, w, t_a ve t_c sırasıyla 10mm, 9mm, 1mm, 1.8mm, 0.758mm ve 0.035 mm'ye karşılık gelmektedir, kullanılan dirençler ise $R=3\Omega$ olarak seçilmiştir. Şekil 2a'daki yapıda fiziksel boyutlardan b, g, w ve R parametreleri değiştirilerek tek yarıkli kare halka yapının tepki verdiği frekans bölgesinde rezonansa girmesi sağlanmıştır. Sınır koşulları ve uyarım şekli ise ilk yapı ile aynı tutulmuştur.

3. BENZETİM SONUÇLARI

İki yapının da θ açısı 60° 'den -60° 'ye kadar değiştirilerek benzetim programında parametrik analizleri yapılmış ve sonuçları Şekil 3'te verilmiştir. Yapının uyarımı için tüm frekanslarda gerekli güç değeri CST Microwave Studio benzetim programında geçerli olan 0.5 Watt olarak belirlenerek analizler bu değer üzerinden gerçekleştirilmiştir. Tek yarıkli kare halka rezonatör yapısında açıya bağımlı S_{11} grafiğinde aynı geliş açısı değerleri için artı veya eksi işaretli olması arasında farklılık gözlenmemektedir ancak direnç üzerinde harcanan güçte büyük farklılık tespit edilmiştir. Giriş gücünden yola çıkılarak yapılan verimlilik hesabında -60° deki verimlilik %72 civarında iken 60° deki verimlilik ise %14'lere kadar düşmüştür, 0° de ise 5.75 GHz'de verimlilik ise %94 civarındadır. 0° de rezonans frekansında yapının soğurduğu EM dalga %99.69'dur.



Şekil 3. Tek yarıklı kare halka rezonatör için açığa bağımlı a) S-parametreleri, b) dirençte harcanan güçler, çift yarıklı halka rezonatör için açığa bağımlı c) S-parametreleri, d) dirençlerde harcanan güç toplamı grafikleri

Çift yarıklı halka rezonatöründe direnç grafiğindeki veriler iki eş direncin üzerinde harcanan güçlerin toplamı şeklindedir. Çift yarıklı halka rezonatörde ise aynı açı değerleri için eksi veya artı işaretli olması açısından kayda değer bir fark olmadığı gözlemlendi, iki açıda da verimlilik %73 olarak gerçekleşmiştir. 0°de yapının soğurduğu EM dalga 5.76 GHz olan rezonans frekansında %99.15 ve verimlilik %93'tür.

Sonuç olarak, çift yarıklı halka rezonatöründe karşılıklı pozitif ve negatif açılarda (-15, +15 v.b.) tek yarıklı halka rezonatöre göre verimlilik ve S parametrelerinde bir değişim olmamıştır. Bu çalışma elektromanyetik kirliliğin yoğun olduğu frekanslar için tasarlanıyor olması sebebi ile genellikle X, K ve K_u bantlar için tasarlanan diğer elektronik cihazların frekanslarına göre gündelik hayatta daha sık kullanılan cihazlardan yayılan enerjiyi hedef alması açısından üstünlük sağlamaktadır.

Bu çalışma 115E667 numaralı TÜBİTAK projesi ile 15H0443004 ve 16B0443005 numaralı Ankara Üniversitesi BAP projesi kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] Priya S. ve Inman D. J., "Energy Harvesting Technologies", Springer, 2009
- [2] Unal E., Dincer F., Tetik E., Karaaslan M., Bakir M. ve Sabah C., "Tunable perfect metamaterial absorber design using the golden ratio and energy harvesting and sensor applications." Journal of Materials Science: Materials in Electronics 26.12 (2015): 9735-9740.
- [3] Allen M. H., Alexander R. K. ve Steven A. C., "A microwave metamaterial with integrated power harvesting functionality." Applied Physics Letters 103 163901 (2013).
- [4] Thamer S. A. ve Ramahi O. M., "Split-Ring Resonator Arrays for Electromagnetics Energy Harvesting." Progress In Electromagnetics Research B, Vol. 62, 167-180, 2015