

RF Enerji Hasadı için Hilal Yıldız Yuvalı Koch Kar Tanesi Fraktal Anten

Elif Buse Zengin, Mustafa Ünlü, S.Sima Köse, Oğuzhan Nohutçu, Diaa E. Fawzy,

Mühendislik Fakültesi, İzmir Ekonomi Üniversitesi, İzmir
buse.zengin@std.ieu.edu.tr, mustafa.unlu@std.ieu.edu.tr, sima.kose@std.ieu.edu.tr,
oguzhan.nohutcu@std.ieu.edu.tr, diaa.gadelmavla@ieu.edu.tr

Özet: Bu çalışma, Radyo Frekans (RF) enerji hasadı için hilal yıldız şeklinde yuvaya sahip ultra geniş bant Koch Kar Tanesi fraktal yama anteni önermektedir. Üçüncü yineleme olarak tasarlanan anten, GSM1800 (1.8GHz) ve Wi-Fi (2.4 GHz) frekans bantlarını kapsamakta ve 1.57 GHz - 2.53 GHz frekans aralığında çalışmaktadır. 50 Ω empedansa sahiptir ve bir mikroşerit hat ile beslenmektedir. Antenin boyutları 72x50x2.4 mm³tür. Simülasyonlar, dielektrik sabiti(ϵ_r) = 4.3 ve tanjant kaybı $\tan\delta = 0.02$ olan FR4 ara malzemesi ile yapılmıştır. Önerilen antenin yansıma katsayıları (S_{11}), 1.8 GHz'de -26.33 dB ve 2.4 GHz'de -30.45 dB'dir. Gerilim duran dalga oranı (VSWR) 1'e yakındır ve ışıma modellerinin de RF enerji hasadı için uygun olduğu bulunmuştur.

Abstract: This study proposes an ultra-wideband Koch Snowflake fractal patch antenna with crescent star-shaped slot for Radio Frequency (RF) energy harvesting. The antenna, designed as the third iteration, covers the GSM1800 (1.8GHz) and Wi-Fi (2.4 GHz) frequency bands and operates in the 1.57 GHz - 2.53GHz frequency range. It has an impedance of 50 Ω and is fed with a microstrip line. The dimensions of the antenna are 72x50 x2.4 mm³, the simulations are based on FR4 substrate with a dielectric constant $\epsilon_r = 4.3$ and the tangent loss $\tan\delta = 0.02$. The reflection coefficients (S_{11}) of the proposed antenna are -26.33 dB at 1.8 GHz and -30.45 dB at 2.4 GHz. The voltage standing wave ratio (VSWR) is close to 1, and the radiation patterns are also found to be suitable for RF energy harvesting.

1. Giriş

Günümüzde düşük güçlü sensörlerin kullanımının yaygınlaşması ile RF enerji hasadına olan ilgi de artmıştır. Biyomedikal sensörler enerjilendirme birimi olarak [1] veya insansız hava araçlarında hibrit bir enerjilendirme sistemi parçası olarak kullanılabilir[2-3], geniş bir kullanım yelpazesi vardır. Antenlerin bant genişliği, toplanılan enerjiyi de etkilemektedir. Hasat edilen kaynak, belirli bir çalışma frekansına sahip bir devre olmadığı sürece dar bant antenlerle hasat yeterli olmayacaktır [4]. Düşük maliyetli, küçük boyutlu, hafif olma avantajlarına rağmen, yama antenleri sınırlı bir bant genişliğine sahiptir ve bu da enerji hasadı için dezavantaj oluşturmaktadır. Enerji hasadının çevreden olması bekleniyorsa, anteni geniş bant veya çok bantlı olarak tasarlamak daha karlı olacaktır. Bu sebeple, bu çalışmada geniş bantlı bir yama anten tasarımı için, fraktal şekiller eklenmiştir. Geleneksel antenlerle karşılaştırıldığında boyutu daha küçük, bant genişliği ve verimliliği daha fazladır [5].

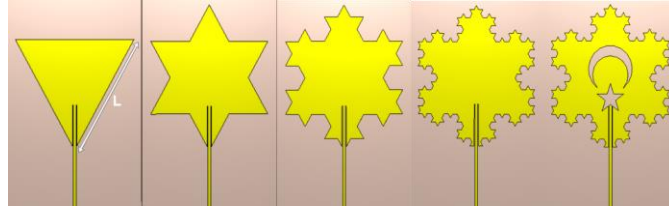
2. Anten yapısı ve Tasarım Süreci

Koch Kar Tanesi form yapısı, L uzunluğunda eşkenar üçgenin her yinelemede, üçgenin her bir kenarı, üç eşit uzunluğa bölünüp, her bir kenarın orta uzunluğu kaldırılarak yerine bir eşkenar üçgen eklenmesi ile oluşturulur. Bu işlem, optimum yineleme numarası bulunana kadar kendini tekrarlar [6].

$$L_K = L (4/3)^K \quad (1)$$

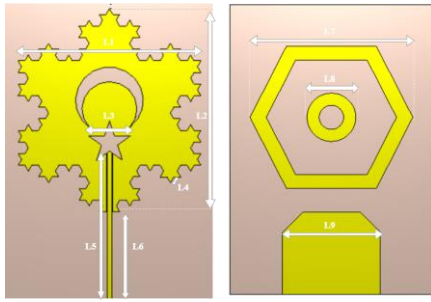
Formül 1'e göre K, segment numarası olarak adlandırılır ve L_K , yinelemeden sonraki yeni uzunluğu temsil eder. Yineleme işlemi, bir kenarın uzunluğu arttığında antenin genişliğinin aynı kalmasını sağlar. Sonuç olarak, yüzey akımının ve böylece kazancın artmasına yardımcı olur.

Antenin boyutları 72x50 mm²'dir. Yama ve toprak tabakası iletkenleri 0.035 mm kalınlığında bakırdan yapılmıştır. Dielektrik tabanı olarak seçilen FR4 malzemesi 2.4 mm kalınlığa sahiptir. Hilal ve yıldız şeklindeki yuvalar orta noktaya yakın konumlandırılmıştır, böylece yüzey akımının geçişi engellenmemiş olur ve verimlilik artar. Toprak tabakası üç bölümden oluşmaktadır. Altıgen şekil, antenin yama bölümünün arka simetrisine yerleştirilmiştir. Daire ve altıgen şekiller, yüzey akışının en yoğun olduğu bölgelere yerleştirilmiştir. Böylelikle bant genişliği artırılmış ve herhangi bir bant reddine karşı önlem alınmıştır. Köşeleri kesilmiş şekildeki altta yer alan dikdörtgen kısımda, kesilen kenarlar geniş bir bant genişliği yakalamak için ve, yüzey akışının artırılması için tasarlanmıştır.



Şekil 1. Yineleme artışı (0'dan 3'e)

Bu çalışma, çevrede bulunan frekans aralıklarından enerji toplayan bir anten geliştirmeyi amaçlamıştır. Araştırmanın başında hasat için yaygın olan frekans bantları GSM1800 (1.8 GHz) ve Wi-Fi (2.4 GHz) seçilmiştir. Bu geniş bant anten tasarımında Koch kar tanesi şekli kullanılmıştır. Şekil 1, sıfırdan üçüncü yinelemeye kadar Koch fraktalını göstermektedir. Eşkenar üçgenin bir uzunluğu (L), 41.62 cm'dir. Şekil 2'de yama ve toprak tabakalarının görselleri, Tablo 1'de ise antenin uzunluk parametreleri sergilenmektedir.



Şekil 2. Anten iletken tabakaları

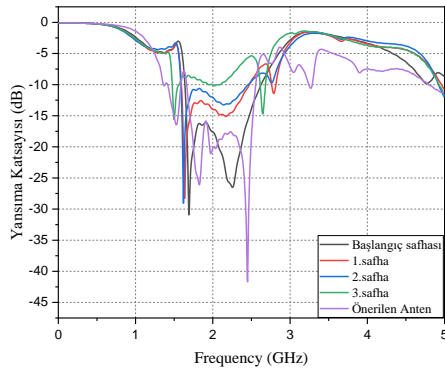
Parametreler	L1	L2	L3	L4	L5
Değerler (mm)	43.2	49.91	9.9	1.6	35.3
Parametreler	L6	L7	L8	L9	
Değerler (mm)	21.4	40	12	24	

Tablo 1. Anten parametreleri

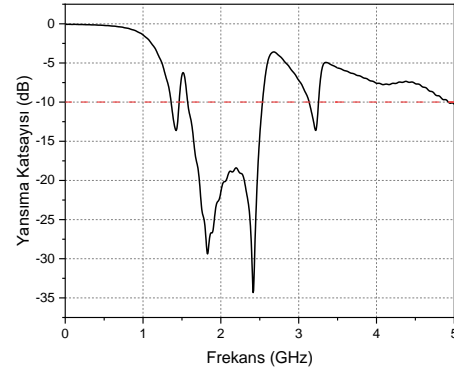
Yineleme arttığı için, genişlik sabit kalırken Öklid uzunluğu artar. Sonuç olarak, yüzey akımı ve kazanç artar. Yineleme arttığında, bant genişliğinin sola kaydığı ve en iyi sonuçların üçüncü yinelemede yakalandığı, ardından yama tarafından kazınan yuvaların sonuç olarak yansımaya katsayısının azaldığı gözlenmiştir, Şekil 3'te belirtilmiştir.

3. Simülasyon Sonuçları

CST Simülasyon programında elde edilen sonuçlar bu bölümde yer almaktadır. İstenilen sonuçlara, üçüncü safha kullanıldığı ve ay-yıldız yuvalar kazındığında ulaşılmıştır. Yansımaya katsayısı, Şekil 4'te gösterildiği gibi, 1.8 GHz'de -26.33 dB'ye ve 2.4 GHz'de -30.45 dB'ye ulaşmıştır. Hasat edilecek sinyalin kaynağının antene göre konumlandırılması bilinmediğinden antenin izotropik olarak tasarlanması daha işlevseldir. Verimlilik, 1.8 GHz'de %90'a ve 2.4 GHz'de %81.7'dir. Şekil 5, 1.8 ve 2.4 GHz'deki üç boyutlu ışınma örüntülerini göstermektedir ve antenin izotropik olduğu gözlemlenebilir. Tablo 2'de benzer frekans bantlarında enerji hasadı için tasarlanan antenlerle bu makalede önerilen antenin karşılaştırma tablosu verilmiştir.



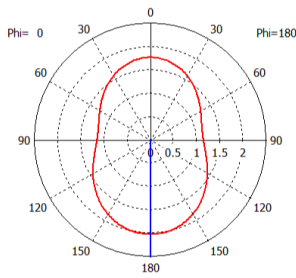
Şekil 3. Safhalara göre yansımaya katsayısı karşılaştırılması



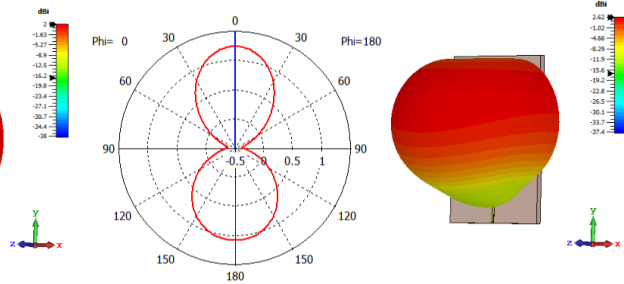
Şekil 4. Yansımaya katsayısı (S_{11})

Referans Numarası	Tür	Boyut (mm ³)	Çalışma Frekansı (GHz)	Yansımaya katsayısı (S ₁₁) (dB)	Kazanç (dBi)	Radyasyon ışıma verimliliği (%)
[7]	Dual bant	-	1.8 ve 2.4 0.93-2.42 (-6 dB impedance bandwidth)	1.8 GHz: -17.5 2.4 GHz: -35	1.8GHz: 1.67 2.45 GHz: 2.97	-
[8]	Geniş bant	134 x 76 x 1.5	1.8 ve 2.4	1.8 GHz: -14 2.4 GHz: -6	1.8 GHz: 4.04 2.45 GHz: 1.704	89 - 99 arasında
[9]	Dual bant	105.5 x 93 x 1.6	1.8 ve 2.4	1.8 GHz: -20 2.4 GHz: -29	~ 1	-
Önerilen anten	Geniş bant	72 x 50 x 2.4	1.57 – 2.53	1.8 GHz: -26,33 2.4 GHz: -30,45	1.8GHz: 2.02 2.4 GHz: 2.62	1.8 GHz: 91.2 2.4 GHz: 81.7

Tablo 2. Önerilen antenin sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 5.a. 1.8 GHz'deki 2D ve 3D ışıma örüntüleri



Şekil 5.b. 2.4 GHz'deki 2D ve 3D ışıma örüntüleri

4. Sonuç

Bu çalışmada geliştirilen ultra geniş bantlı yönsüz anten 1.8 ve 2.4 GHz'i kapsayan frekans aralıklarından enerji toplayabilir. Geliştirilen anten, 1.8 GHz frekansında %91.2 ve 2.4 GHz frekansında ise %81.7 oranında radyasyon verimliliğine ulaşmıştır. Benzer frekans aralıklarında çalışan antenler ile karşılaştırıldığında daha düşük yansımaya katsayısına sahiptir. Bu frekans bantları kentsel alanlarda yeterince yoğun olarak bulunduğu için, önerilen anten, düşük güçlü sensörleri bataryadan bağımsız hale getirme ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile hibrit olarak kullanma, yeşil ve bedava enerji sağlama potansiyeline sahiptir.

Kaynaklar

- [1] S. M. Asif, A. Iftikhar, B. D. Braaten, D. L. Ewert, ve K. Maile, "A Wide-Band Tissue Numerical Model for Deeply Implantable Antennas for RF-Powered Leadless Pacemakers," IEEE Access, cilt. 7, ss. 31031–31042, 2019
- [2] C. Van Nguyen, T. Van Quyen, A. M. Le, L. H. Truong, ve M. T. Nguyen, "Advanced hybrid energy harvesting systems for unmanned ariel vehicles (UAVs)," Adv. Sci. Technol. Eng. Syst., cilt. 5, no. 1, 2020
- [3] A. Collado, S. Member, A. Georgiadis, ve S. Member, "Conformal Hybrid Solar and Electromagnetic (EM) Energy Harvesting Rectenna," cilt. 60, no. 8, ss. 2225–2234, 2013.
- [4] M. M. Fakharian, "A Wideband Fractal Planar Monopole Antenna with a Thin Slot on Radiating Stub for Radio Frequency Energy Harvesting Applications," Int. J. Eng. Trans. B Appl., cilt. 33, no. 11, ss. 2181–2187, 2020
- [5] K. Ismail ve A. S. H. Rosli, "U-slot antenna compacted with Koch fractal with electromagnetic band gap," Proceeding - 2016 Int. Conf. Radar, Antenna, Microwave, Electron. Telecommun. ICRAMET 2016, ss. 90–94, 2017
- [6] Z. Yu, J. Yu, ve X. Ran, "An improved koch snowflake fractal multiband antenna," IEEE Int. Symp. Pers. Indoor Mob. Radio Commun. PIMRC, vol. 2017-October, no. 1, ss. 1–5, 2018
- [7] Maç, M. M., Binici, Ü., Partal, H. P., Partal, S. Z., & Belen, M. A. (2014). RF Enerji Toplayıcı Devre Tasarımı RF Energy Harvesting Circuit Design. Eleco Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu.
- [8] Leino, M. K., et al. "Wideband monopole antenna for rf power scavenger." 2016 IEEE international symposium on antennas and propagation (APSURSI). IEEE, 2016.
- [9] E. Değirmenci, H. Akman ve M. Kahrıman, "A circle and rectangle slotted antenna design for using in ISM 1800 MHz and 2450 MHz," 2014 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2014, ss. 1734-1737, doi: 10.1109/SIU.2014.6830584.