



Erciyes University Journal of the Institute of Science and Technology

Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

ISSN 1012-2354

Cilt (Volume): 29, Sayı (Issue): 1, Ocak/January-2013

<http://fbe.erciyes.edu.tr/>



Elektromagnetik bant boşluğu yapılar kullanılarak düşük profilli antenlerin ışıma özelliklerinin geliştirilmesi

Muharrem Karaaslan, Emin Ünal, Enver Özdemir, Utku Erdiven

Mustafa Kemal Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, İskenderun, Hatay

ÖZET

Geniş bant düşük profil antenlerin kazanç ve bant genişliği, bu antenlerin, klasik platformların iletken yüzeylerine yerleştirildiğinde ciddi olarak bozulmaya uğramaktadır. Bu bozulmanın temel nedeni iletken yüzeyden yansıyan faz dışı yansımalar ile antenin kendi radyasyonunun girişimidir. Anten ve platform arasına yerleştirilen ince alt tabaka içerisine yönelen yanal dalgalar, yüzey dalgalarının artmasına sebep olur ve alt tabakanın kenarından büyük ölçüde bozucu dağılıma ile sonuçlanır. Anten performansını azaltan bu iki büyük problemi çözmek için yüksek empedans zemin düzlemleri yapılar (HIGP) dizayn edilmiştir. Mantar benzeri iki boyutlu periyodik yapılardan oluşan HIGP, mükemmel manyetik iletken (PMC) benzeri yansıma oluşturmasının yanında, alt tabaka modlarının bant durdurucu aralığı içerisinde yüzey dalgalarını da bastırmaktadır. Bu çalışmada yeni tip geometrik yapılardan oluşan HIGP-anten sisteminin dizaynı ve FEM metodu ile optimizasyonları sunulacaktır. Mantar benzeri yüzeylerin, yüzey dalgalarını bastırmak için kullanıldığı bilinmektedir. Ancak HIGP dizayn sonuçlarının düşük profil anten ile uyum kriterlerini karşıladığını araştırmak için, bir HIGP yüzeyin operasyonel frekans bandı, düşük profil tel antenin iyi geri dönüş kaybı ve radyasyon örüntüsü ile etkin bir şekilde yayılabileceği frekans bölgesi içerisinde tanımlanması gerekmektedir. Farklı tip birim hücrelerden oluşan optimize edilmiş HIGP'ler üzerinde, düşük profil antenlerin operasyonel frekans bantları araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler:

Yüksek
Empedanslı
Zemin Düzlemi
(HIGP),
Elektromanyetik
Band Boşluğu
(EBG) Yapılar

Enhancement of low profile antenna radiation properties using electromagnetic band gap structures

ABSTRACT

Gain and bandwidth of broadband low-profile antennas severely deteriorate when they are placed conformally onto the conductive skins of platforms. This detrimental effect is primarily due to out-of-phase reflections from the conductive body interfering with the antenna's self radiation. Furthermore, lateral waves launched by the antenna couple into the thin substrate placed between the antenna and the platform, giving rise to surface waves resulting in significant diffraction from the edges of the substrate. To fix these two major mechanisms degrading antenna performance, high impedance ground planes (HIGP) are designed. HIGPs made of a 2-dimensional periodic arrangement of a mushroom structure not only provide perfect-magnetic-conductor (PMC)-like reflection but also suppress the surface waves within the stop-band of the substrate modes. This study presents new geometrical shape HIGP-antenna designs and optimizations. Dipole antenna is used as low profile antenna in the research. Mushroom-like surface is being used for suppressed surface waves. However, to ensure that resulting HIGP designs will meet the criteria of low profile antenna applications, an operational frequency band of an HIGP surface is defined as the frequency region inside of which a low profile wire antenna radiates efficiently with a good return loss and radiation patterns. Operating frequency bands of these antennas over different types of optimized HIGP's are investigated. Butterfly like HIGP and antenna designs are introduced. Broadband nature of the HIGP-antenna system designs is increased by using butterfly type HIGP.

Key Words:

High Impedance
Ground Plane
(HIGP),
Electromagnetic
Band Gap (EBG)
Structures

1. Giriş

Elektromanyetik metamalzemeler, doğada bulunmayan ender özelliklere sahip, yapay ve fiilen homojen yapılar olarak tanımlanır. Yunanca “ötesinde” veya “sonra” manasına gelen meta öneki, doğada mevcut özelliklerin ötesindeki özellikleri taşıma anlamına gelmektedir. Bu yapılar kullanılarak şekil ve doğal malzeme özelliklerin değiştirilebilirliği mikrodalga ve terahertz spektrumunda birçok yararlı ve ilginç fırsatların yolunu açmaktadır. Son zamanlarda bu çeşit malzemeler askeri ve ticari alanlarda da sıklıkla kullanılmaktadır. Ticari uygulamalar olarak MTM 'ler mobil teknolojilerde, sadece cep telefonu anten boyutunu küçültmek için değil yayılım etkinliğini artırmak için de kullanılmıştır.

Elektromanyetik metamalzemeler; telekomünikasyon, radarlar, mikroelektronik, görüntüleme ve savunma alanlarında önemli teknolojik ve bilimsel gelişmeler vaat eden yapılardır. EBG 'nin yüzey dalga bant boşluk özelliği anten kazancını artırır, geriye lopları minimize eder ve ortak bağlaşımı azaltır. Yüksek duyarlılık GPS alıcılarında EBG yama anten uygulamaları, giyilebilir elektronik, fazlı dizi sistemleri bazı uygulamalardır. Ticari ve askeri uygulamalar için iletken yüzeylerde çalışan geniş bant antenler gereklidir, fakat standart anten dizaynları bu çeşit özelliğe sahip değildir. Eğer düşük profil tel anten ve zemin düzlem sistemleri isteniyorsa birçok problem oluşabilmektedir. Metaller genellikle anten sistemlerinin ışılan elemanı olarak kullanılırlar. Sıradan zemin düzlemleri ve yansıtıcılar da metalden yapılmaktadır. Bu metal malzemeler neredeyse mükemmel elektrik iletken (PEC) olarak tarif edilen mükemmel elektrik iletken olarak davranırlar ve dielektrik malzeme, antenin ışılan elemanı ve zemin düzlemi yada yansıtıcı arasında izolasyonu sağlar. PEC zemin düzlemi ve yansıtıcılar birçok uygulama için pratik olarak dizayn edilmesine rağmen PEC antenle birleştirildiklerinde bir takım problemler meydana gelmektedir. EBG ya da fotonik bant boşluğu (PBG) malzemelerdeki en son gelişmeler mikrodalga alanlar için yüksek empedans özelliği gösteren alternatif yapı formları dizaynına fırsat sunmaktadır. Bu çeşit yapılar sıradan PEC zemin düzlemi yerine yerleştirilerek EM dalganın aynı fazda yansımaları ve yüzey dalgalarının bastırılması için kullanılabilirler. Bu tip özel yapılar TE yada TM polarizasyon durumunda yüzey empedansını değiştirmek, yüzey dalgalarının yayılımını işlemek yada faz yansımalarını kontrol etmek için dizayn edilebilir. Küçük ebatlı antenlerin radyasyon örüntülerinin geliştirilebilmesi için bu tip yüzeyler kullanılabilir [1], [2], [3].

Şimdiye kadar elektriksel iletken malzemeler yansıtma yapılarında yegane malzemeler olarak geniş ölçüde kullanılmıştır. Antenlerin ışılan elemanları ve yansıtıcı yada zemin düzlemi için elektriksel iletken kullanımı; ışılan elemanın kısa devre olması, yapının kenar ve köşelerinden kaçak dalgalar gibi bazı problemlere sebep olmaktadır. Işılan elemanın kısa devresinden PEC yansıtıcıyı korumak için araya izolasyon gerekmektedir. PEC yüzey üzerine gelen EM dalgalar 180 derece faz kayması ile yansıtılırlar. PEC zemin düzleminin kenar ve köşelerinden yansıyan faz dışı dalgalardan dolayı, üzerine yerleştirilen antenin ana radyasyon örüntüsü bozulur.

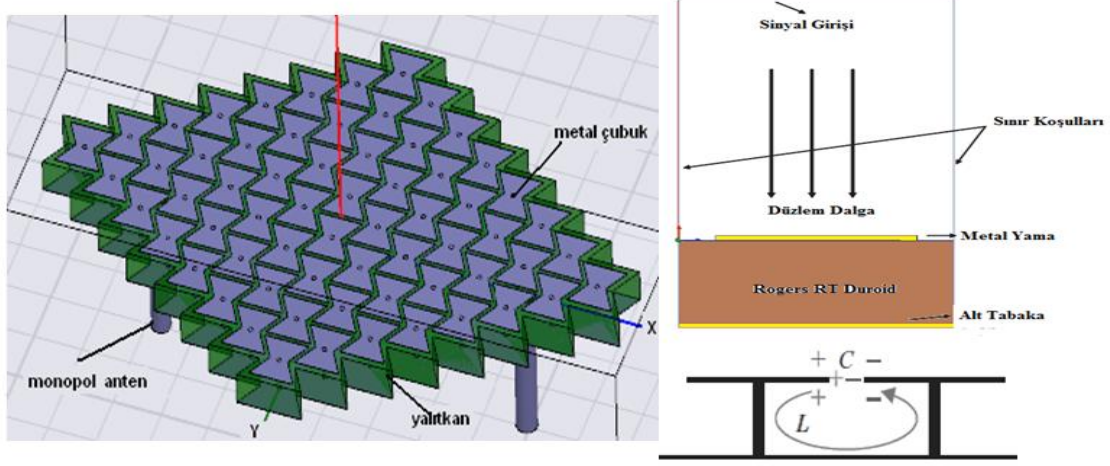
Antenin etkin bir şekilde ışılması için zemin düzlemi ve ışılan eleman arasındaki uzaklığın artırılması gerekmektedir. Ayrımın artırılması ile yansıyan dalganın fazı ile giden dalga fazı arasında uyum sağlanmasına rağmen tasarımda boyut problemleri ortaya çıkarır. Bu yaklaşım tarzı sadece boyutların artırılmasını değil, anten sisteminin frekans bant genişliğini de sınırlamaktadır [1],[4].

2. Kelebek benzeri ebg yapı ve anten etkileşimi

Yüzey dalga bant boşlukları düşük profil tel antenin etkin bir şekilde ışılmasını garanti etmemektedir. Düşük profilli anten ve EBG yüzeyler arasında karmaşık girişimlerin oluşmaması ve EM dalgaların EBG yüzeyde oluşturabileceği yüzey akımlarının olmaması anten sistemi için büyük bir avantajdır. Bu etkileşimin gözlenmesi amacı ile düşük profilli dipol anten yatay olarak bir EBG yüzeyi üzerine yerleştirilmiş, anten performansına etkisinin incelenmesi sağlanmıştır. Farklı frekans değerlerinde ışılma yapan bir dipolün EBG yapıdan geri dönüş kayıpları ve radyasyon örüntülerinin incelenmesi ile EBG yüzeyin işlevsel frekansının belirlenmesi mümkün olabilmektedir. İyi geri dönüş kaybı (S11) sağlandığı frekans bandı anten-EBG sistemi için uyumlu frekans bant aralığı olarak tanımlanmaktadır. Operasyonel frekans bandında, yüzey dalga frekans bant boşluğu ve giriş eşleşmiş frekans bandı üst üste binmelidir.

Mantar benzeri EBG yüzey için de, yüzey dalga frekans bant boşluğu ve giriş eşleşmiş frekans bandı birbirlerine yakın olduğunda etkin operasyonel frekans bandı kazanılması mümkün olacaktır. Bu iki frekans bandının genel yüzeyler için birbirlerine benzer olması gerekli değildir. Bu noktayı daha iyi anlamak için ince zemin tabaka üzerine yerleştirilmiş düşük profil tel anten performansı değerlendirilmelidir. Bu durumda kuadratik yansıma fazı elde etmek için yüksek dielektrik sabitine sahip alt tabakalar kullanılmaktadır. Tel anten iyi geri dönüş kaybı göstermesine rağmen radyasyon örüntülerinin geniş yönlü olması ve yönelme yeteneğinin güçlü yüzey dalgalarından dolayı azalması ile çatallaşma göstermektedir. Giriş uyumlu frekans bandı ince zemin tabaka durumunda yüzey dalga frekans bant boşluğu ile üst üste binmeyecektir, bundan dolayı etkin operasyonel bant gerçekleşmeyecektir.

Dipol uzunluğu değiştirilerek anten rezonans frekansı değiştirilebilir. EBG yüzeyin yansıma fazında uygulanan frekansa bağımlı olduğundan, dipolün geri dönüş kayıpları da frekansa bağlı olarak değişecektir. Dipol EBG yüzeyle uyumlu yansıma fazına sahip olduğunda iyi geri dönüş kayıpları elde edilebilir. Dipol antenlerin farklı frekanslarda geri dönüş kaybı ve radyasyon örüntülerini birlikte gözlemleyerek düşük profil anten dizaynları için, mantar benzeri yüzeylerin EBG olarak kullanılarak operasyonel frekans bandları elde edilebilir. EBG oluşumunu etkileyen bir diğer parametre, antenler arasındaki yama sayısıdır. Antenler arasında kesik sayısı ne kadar artarsa yüzey akımlarının bastırılması o kadar iyi olacaktır. S21 antenler arasındaki yüzey akımlarının bastırılması ile oluşan EBG 'leri temsil ettiği için sonuçları yorumlamakta önemli olacaktır. Bu çalışmada HIGP yüzey birim hücresi olarak kelebek benzeri yapı kullanılmıştır. Bu yapının ebatları x ve y yönünde sırası ile 4,8mm ile 4,6mm olarak belirlenmiştir. Ayrıca ortadaki dar kısım 0,3mm'dir (şekil 1).



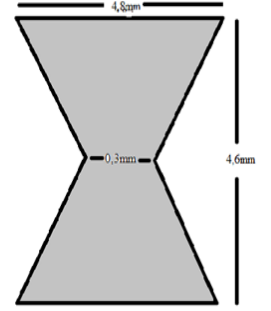
Şekil 1. Kelebek tipi birim hücrelerden oluşan HIGP yapı ve elektronik temsili

Birinci adım olarak, HIGP yüzeyin iki uç noktasında birim hücreler arasına yerleştirilmiş iki monopole anten yardımı ile anten yansıtıcısı olarak kullanılacak HIGP yapının yüzey akımları incelenecektir. Bu yapıda HIGP yüzey elde edilmesinde çift taraflı bakır plaka şeklinde Rogers R/T Duroid 5880 yüksek frekans laminant kullanılmıştır. Bu plakanın kalınlığı 0,005inch ve katmanlar arasındaki yalıtkanın dielektrik sabiti 2,2 olarak tanımlanmıştır. Plakanın üst kısmındaki metal katmanda kelebek benzeri yapı oluşturulurken, alt kısmında bakır düzlem olacaktır. Bu yapı deneysel olarak dizayn edilmeye çalışıldığında ise klasik baskı devre metodları ile gerçekleştirilmesi mümkündür. Birim hücrelerin herbiri orta noktadan 0,5mm çapında delinerek, alt bakır plaka ile metal tel yardımı ile birleştirilmiştir. Bu sayede hücreler arasında ki boşluk, kapasitif etki gösterirken, metal kelebek yapı – bu yapıya karşılık gelen alt bakır kısım ve kelebek yapı ile bakır kısmı birleştiren metal tel birim hücrenin endüktif kısmını oluşturmaktadır. Kapasitif ve endüktif kısım birlikte birim rezonatörü oluşturarak yüzey dalgalarını rezonans frekans aralığında engelleyen HIGP yapı oluşturulmuş olacaktır.

Yapının x-y yönündeki uzunlukları ve ara kısımda yapılan değişikliklere göre 0-20 GHz frekansları arasında optimizasyon yapılarak, yüzey dalgalarının bant boşluğu incelendiğinde 10 GHz gibi geniş bir bant aralığına kadar bant boşluğu elde edilmesi mümkün olmaktadır, bu değer literatürde görülen en geniş bant boşluğudur (Tablo 1). X ve y yönündeki ebatlar sabit tutulup ara uzunluk 0,3 mm ile 0,5mm arasında değişirken frekans bant boşluğu aralığının düşük frekans değeri sabit olmasına rağmen, üst frekans değerinde açılma görülmüştür. Bu açılma ile C-X ve Ku mikrodalga frekans bant aralıklarının hepsini içermesi oldukça önemlidir. Ara kısım sabit tutularak yapının x ve y yönünde yapılan değişiklik durumunda da bant boşluğunun alt frekans bölgesinde değişiklik olmazken, üst frekans bölgesinde ise 4GHz' lik frekans kayması görülmektedir. En ideal ebatların bütün bu optimizasyonlardan ilk olarak alınan değerler olduğu gözlenmiştir. Elde edilen geniş bant boşluğu değerleri için, EBG yapının üzerine yerleştirilecek dipol antenle, yapının etkinliği araştırılacaktır. Ancak bu sayede yapının birlikte kullanıldığı antenle uyumlu bir sistem oluşturarak etkin ışıma yapması mümkün olmaktadır. Işıması araştırılacak dipol anten olarak 8,5 GHz değerinde ışıma yapan dipol anten kullanılmaktadır. Bu antenin ışıma özelliği ve 8,5GHz frekansında radyasyon örüntüsü Şekil 2'de görülmektedir.

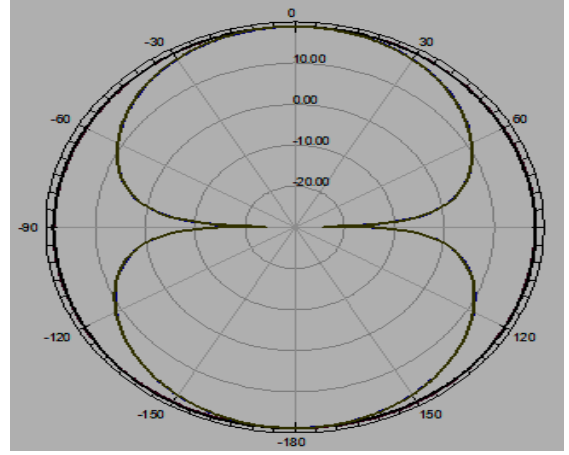
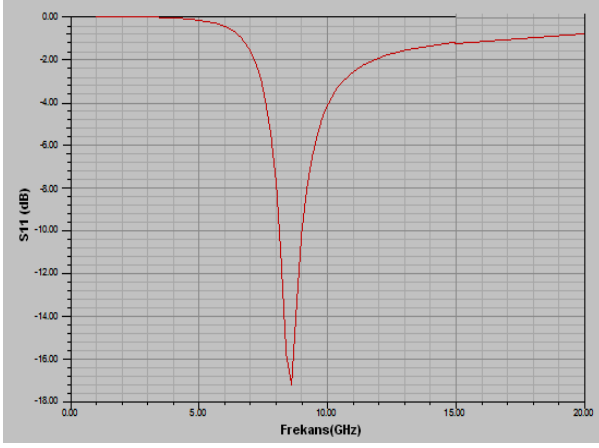
Tablo 1. Kelebek benzeri yapının ebatlarına bağlı oluşan frekans bant boşluğu

Şekil Tipi	w.(mm)	g.(mm)	Bant boşluğu
Kelebek benzeri	4.8- 4.6	0.3	5-11.5 GHz
	4.8- 4.6	0.4	5.2-15.2 GHz
	4.8- 4.6	0.5	5.2-14.6 GHz
w iyileştirme	3.8- 3.4	0.4	5.2-13.2 GHz
	4.8- 4.6	0.4	5.2-15.2 GHz
	5.8- 5.8	0.4	4.8-11.1 GHz

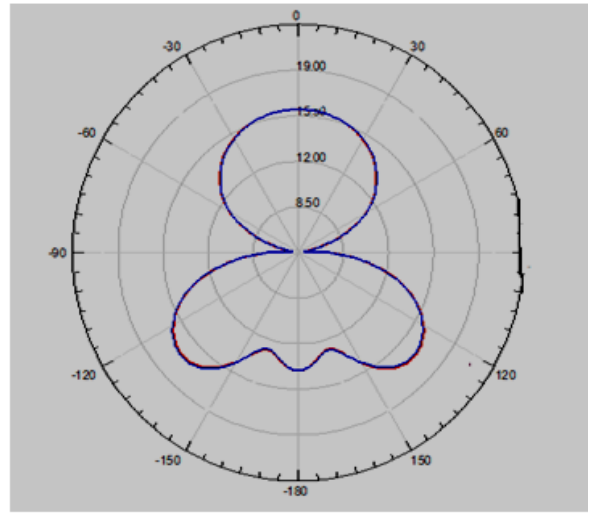
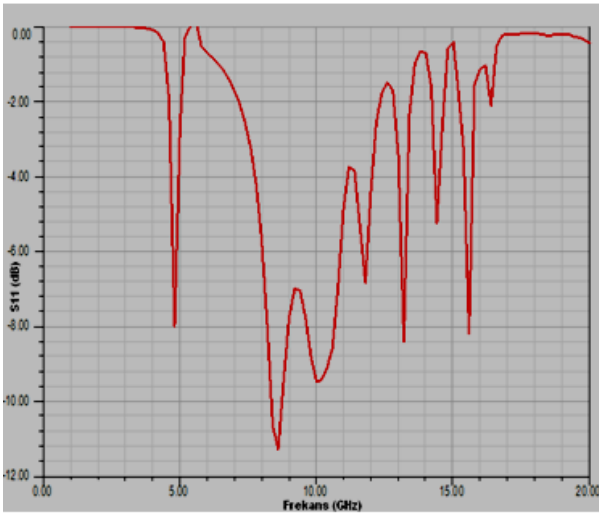


Işıma özelliklerinin elde edilmesi için antenin EBG yapıda olduğu gibi 0–20 GHz aralığında yansıma (S11) değerleri elde edilmiştir. Anten kare şeklinde bir boşluk ortamda tanımlanmış ve bu ortamın sınırları radyasyon yüzeyi olarak tanımlanarak sonsuz boşluk şeklinde sonuç elde edilmesi sağlanmıştır. Antenin tek bir frekans değerinde ışımı yaptığı gözlenmiş (-17dB) ve bu frekansa göre elde edilen radyasyon örüntüsünde ise dipol antenlerin genel karakteristiği olarak çift loblu anten ışması elde edilmiştir.

Dipol anten ile kelebek EBG yapının etkisinin incelenebilmesi için, EBG yapının hemen üstüne (1mm) yerleştirilerek antenin yansıma parametreleri ve radyasyon örüntüsü incelenmiştir. Kelebek yapının ebatları ise en geniş bant yüzey akım azaltılması sağlanan değerler seçilmiştir. Antenin X yönünde yerleştirilmesi durumunda, anten EBG yapı ile rezonansa girerek geniş bir frekans aralığında (8GHz-11GHz) iletimde olduğu gözlenmektedir (Şekil 3). 8,5GHz frekansında anten-EBG yapının radyasyon örüntüsü daha geniş bir açıyı taradığı görülmektedir. Daha da önemlisi bu radyasyon örüntüsünün 8-11GHz aralığının tamamı için geçerli olmasıdır. Antenin iyi ışımı yaptığı 8-11GHz frekans aralığı, yüzey akım değerlerinin minimize edildiği frekans aralığı ile örtüşmektedir. Ayrıca anten-EBG kelebek yapı arasındaki mesafe anten-PEC (mükemmel elektrik iletken) yapıya göre çok düşüktür. Bilindiği gibi anten-PEC yapının kullanılması durumunda aradaki mesafenin $\lambda/4=8,8\text{mm}$ değerinde olması ile giden ve dönen sinyallerin fazlar arasındaki faz farkı kaldırılarak tek yöne radyasyon değerinin artırılması mümkün olmaktadır ve tek yöne maksimum ışımı sağlanabilmektedir. Bu sayede anten sisteminin ebatlarının azaltılarak, tek bir frekans yerine geniş bir bant aralığında ışımı yapması sağlanabilmektedir.



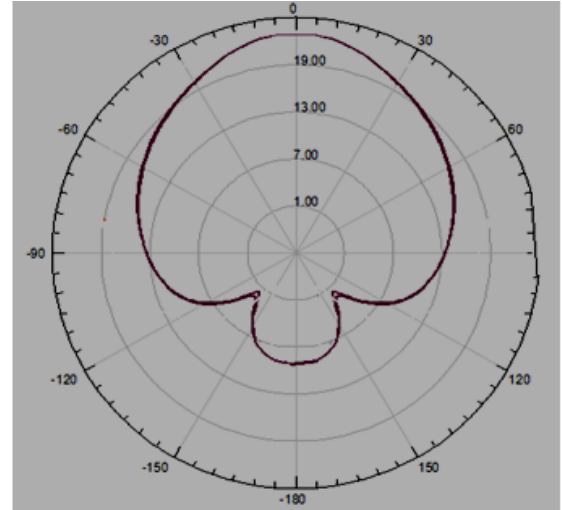
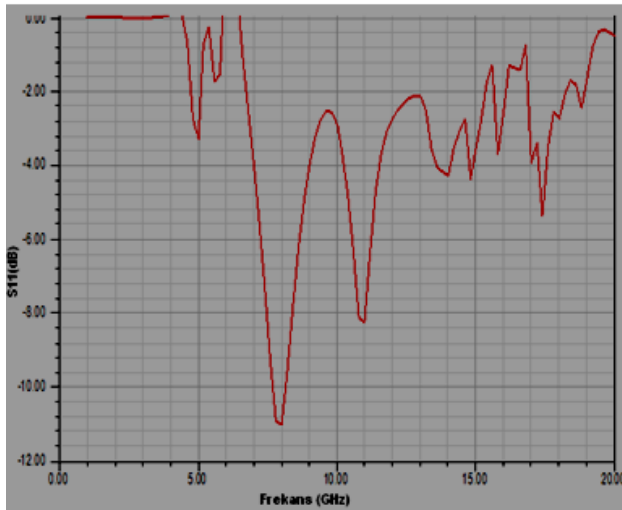
Şekil 2. Serbest uzay dipol anten yansımaya frekans aralığı ve 8,5GHz için ışımaya deseni



Şekil 3. HIGP üzerine X yönünde yerleştirilen dipol antenin frekansa bağlı yansımaya sabiti ve 8,5GHz için ışımaya deseni

Dipol antenin Y eksenine boyunca yerleştirilme durumunda ise hem anten iletim aralığında hemde radyasyon örüntüsünde oldukça büyük farklılık görülmektedir. Dipol anten iletim frekansı 8,5GHz ve 11GHz değerlerinde iki farklı frekansta oluşmaktadır. Serbest uzay dipol anten radyasyon örüntüsünden farklı olarak çift lob yerine tek lobda ışımaya yapmaktadır. Işıma değeri serbest uzay dipol antene yakın bir değerde ve X eksenine boyunca EBG üzerindeki sistemden daha iyi bir sonuç vermektedir.

Her iki yöndeki anten-EBG sistemi arasındaki farklılığın nedeni kelebek yapının simetrik olmamasıdır. Yine bu yapıda da dipol ile EBG arasında dalga boyundan çok daha küçük bir uzaklık vardır (1/36). Bu sistem kullanılarak tek bir frekansta ışımaya yapan dipol antenin EBG yapı ile rezonansa girerek birden fazla frekansta tek yönde ışımaya yapması sağlanabilmektedir.



Şekil 4. HIGP üzerine Y yönünde yerleştirilen dipol antenin frekansa bağlı yansımaya sabiti ve 8,5GHz için ışımaya deseni

3. Sonuçlar

Bu çalışmada, FEM metodu tabanlı HFSS simülatörü kullanılarak, EBG özelliği gösteren kelebek benzeri HIGP yapı oluşturmuş, köşe noktalara yerleştirilen monopollenler ile geniş bant yüzey akım bant boşlukları elde edilmiştir. Bu bant boşluklarının anten- HIGP sisteminde etkisinin gözlenmesi amacı ile düşük profilli dipollen anten ile birlikte kullanılarak yansıma ve radyasyon örüntüleri incelenmiş, birden fazla frekans değeri için antenin rezonans gösterip ışımaya yaptığı gözlenmiştir. Aynı frekanslar için radyasyon örüntüleri incelendiğinde de oldukça iyi sonuçlar elde edilmiştir. Daha da önemlisi antenin gerisine yerleştirilen HIGP yapının, PEC yapıya göre çok daha düşük uzaklığa yerleştirilmesine rağmen aynı işlevi yapıyor olduğu gözlenmiştir.

Kaynaklar

1. Sievenpiper, D. F., Zhang, L., Broas, R.F. J., Alexopolus, N. G., ve Yablonovitch, E., "High-impedance electromagnetic surfaces with a forbidden frequency band", IEEE Transactions On Microwave Theory and Techniques, Cilt 47, No 11, 2059-2074, 1999.
2. Yang, F. ve Samii, Y. R. Electromagnetic band gap structures in antenna engineering" Cambridge University Press, Cambridge, İngiltere, 2009
3. Yang, L., Fan, M., Chen, F., She, J. ve Feng, Z., "A novel compact electromagnetic bandgap (EBG) structure and its application for microwave circuits", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., Cilt 53, No 1, 183-190, 2005.
4. Yang, F. ve Samii Y. R., "Reflection phase characterizations of the EBG ground plane for low profile wire antenna applications", IEEE Trans. On Antennas and Propagation, Cilt 51, No 10, 2691-2703, 2003.
5. Golla, K. J., Broadband application of high impedance ground planes. Yüksek Lisans Tezi, Graduate School of Engineering and Management, Air Force Institute of Technology AU, Wright Patterson AFB OH, 2001.
6. Shin, Y.S., Kong, G. K., Park, S.O., "A compact multiband PIFA with the modified ground plane and shorting plate for wireless communications applications", Microw. Opt. Technol. Lett., Cilt 50, No 1, 114-117, 2008.
7. Yang, F., Samii, Y. R., "Microstrip antennas integrated with electromagnetic band-gap (EBG) structures: a low mutual coupling design for array applications", IEEE Trans. Antennas Propag., Cilt 51, Sayı 10, 2936-2946, 2003.
8. Broas, F.J., Sievenpiper, D.F., Yablonovitch, E., "A high-impedance ground plane applied to a cellphone handset geometry", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., Cilt 49, Sayı 7, 1262-1265, 2001.
9. Linton, D. ve Scanlon, W., Continuously Conformable Antenna Element for Advanced Wearable Communications Under Hostile Channel Conditions, Yüksek Lisans Tezi, Queen's University, 2006.