

L1 FREKANSINDA ÇALIŞAN E-ŞEKİLLİ MİKROŞERİT GPS ANTENİ TASARIMI

*Sertaç ERDEMİR**
*Asum Egemen YILMAZ**

Özet: Bu çalışmada, son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte mikrodalga antenleri içerisinde kullanım alanı oldukça yaygınlaşan mikroşerit antenlerin özel bir çeşidi olan E-şekilli mikroşerit anten yapısı incelenmiştir. E-şekilli mikroşerit antende, anten yamasına iki paralel yarık eklenmiş, bu yarıklar rezonans frekansları ve bant-genişliği ile ilişkilendirilmiştir. Yarık boyutları, uzunlukları 20 mm ve genişlikleri 47 mm olacak şekilde parametrize edilerek antenin optimizasyonu sağlanmıştır. L1 frekansında çalışan (1575.42 MHz) ve 1550 MHz – 1605 MHz frekans bandını kapsayan yüksek kazançlı E-şekilli mikroşerit GPS anteni tasarlanmıştır. Sonuç olarak, GPS uygulaması için %3.5'lik bant-genişliğine sahip, sivil GPS frekansında (L1, 1575.42 GHz) rezonansa giren E-şekilli mikroşerit anten tasarımı elde edilmiş ve spesifikasyonları CST-MWS yazılımında yapılan simülasyonlar ile tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: E-Şekilli Anten, Mikroşerit Anten, Yama Anten, Çift Paralel Yarık, GPS.

Design of an E-Shaped Microstrip GPS Antenna Operating at L1 Frequency

Abstract: In this study, the E-shaped microstrip antenna, which has been widely used as a special type of microstrip antenna in the recent years along with the developing technology, is analyzed. Two parallel slots are added to the patch of antenna and these slots are integrated with the resonance frequencies and the bandwidth. The optimization of the antenna is assured with the parameterization of slot dimensions, with the length of 20 mm and the width of 47 mm. The high-gain E-shaped microstrip GPS antenna, which operates at L1 frequency (1575.42 MHz) and covering the 1550 MHz to 1605 MHz band, has been designed. Consequently, E-shaped microstrip antenna design, resonating at civilian GPS frequency (L1, 1575.42 GHz) with 3.5% bandwidth, was obtained; and its specifications were extracted by means of the simulations using the CST-MWS software package.

Keywords: E-Shaped Antenna, Microstrip Antenna, Patch Antenna, Dual Parallel Slots, GPS.

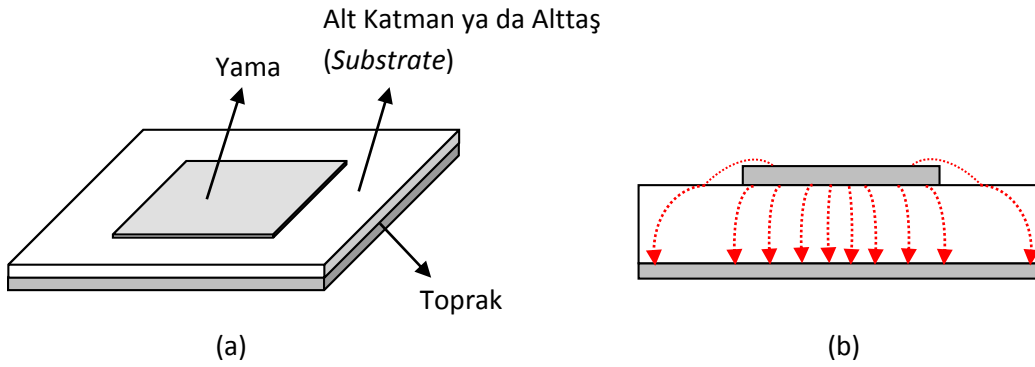
1. GİRİŞ

Yüksek performans gerektiren araçlar, uçaklar, uzay araçları, radar sistemleri, uydu ve füze uygulamaları gibi pek çok alanda; düşük maliyet, performans, kolay kurulum ve modern baskı devre teknolojisiyle üretim gibi avantajlarından dolayı mikroşerit antenler, mikrodalga antenleri içerisinde popüler bir anten çeşidi haline gelmiştir (Balanis, 2005). Mikroşerit yama anten kavramı ilk kez Deschamps (1953) tarafından ortaya atılmış, sonrasında Gutton ve Baissinot tarafından bir mikroşerit antene patent alınmıştır. Ancak iyi dielektrik tabanların mevcut olmaması nedeniyle ilk pratik mikroşerit antenler 1970'lerin başında Howel ve Munson

* Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 06810 Gölbaşı, Ankara.

İletişim Yazarı: A.E. Yılmaz (aeyilmaz@eng.ankara.edu.tr)

tarafından geliştirilmiştir. Mikroşerit yama anten, en temel anlamda Şekil 1(a)'da da görüldüğü üzere iletken bir toprak düzlemi üzerine oturtulmuş belirli bir kalınlıktaki dielektrik malzemenin (alt katman, alttaş - *substrate*) üstüne yapıştırılmış iletken bir yamadan oluşmaktadır. Yama, herhangi bir şekilde besleme marifetiyle uyarıldığında, toprak düzleminde ve yama metalinin alt kısmında bir akım dağılımı oluşmaktadır. Herhangi bir anda yamanın alt kısmı pozitif, toprak düzlemi ise negatif yüklenmektedir. Bu yük dizileri arasındaki çekim gücü, yükün büyük bir kısmının iki yüzey arasında tutulmasına neden olmaktadır. Söz konusu itici güç, yama üzerindeki pozitif yükler arasındaki bu yüklerin bir kısmının kenarlara doğru çekilmesini sağlamaktadır. Bu da, kenarlarda büyük bir akım yoğunluğu oluşturmaktadır. Bu yükler, Şekil 1(b)'de resmedilmiş olan saçaklanma alanlarının ve buna bağlı ışımanın kaynağı olarak nitelendirilmektedir. Söz konusu saçaklanma alanı ve ışımanın, düşük dielektrik sabitine sahip daha kalın bir alt katman kullanılarak artırılması mümkündür.

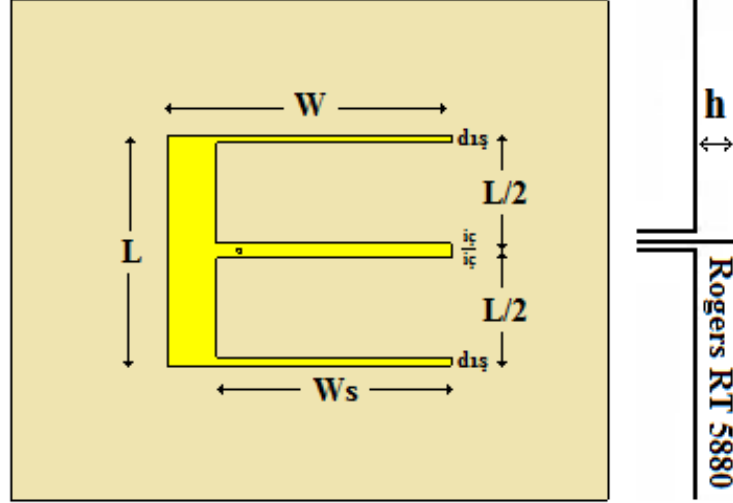


Şekil 1:
Mikroşerit Yama Anten
(a) İzometrik görünüm (b) Yandan görünümde saçaklanma etkisi

Carver ve Mink (1981), mikroşerit antenlerde kullanılan iletim hattı ve boşluk (kavite) modellemelerinden bahsetmiş; aynı zamanda Momentler Yöntemi (*Method of Moments* - MoM) ve Sonlu Elemanlar Yöntemi (*Finite Element Method* - FEM) gibi sayısal yöntemleri dikkdörtgen mikroşerit antene uygulamışlardır. Kumar ve Gupta (1985), aynı tabaka üzerine ana yama ile birlikte yerleştirilmiş parazitik yamalar kullanarak bant genişliğini artırmışlardır. Mikroşerit antenlerin bazı dezavantajlarının kaldırılması için Sullivan ve Schaubert (1986) sınırlı bant genişliğinin bazı uygulamalar için artırılması üzerine çalışmış ve açıklık kuplajlı besleme tekniğini mikroşerit antenlere uygulamışlardır. Bu teknikte farklı iki veya daha fazla dielektrik madde kullanarak farklı alt katmanlar elde etmişler ve bu yöntemle mikroşerit antenlerin bant genişliğini %65 oranında artırmayı başarmışlardır. Bhattacharya ve diğ. (1991), dikkdörtgen, dairesel ve eliptik halka şeklindeki mikroşerit antenlerde iletim hattı modelini kullanarak, ışıma örüntüsü, giriş empedansı, ortak ve öz empedansların hesaplanması üzerine yaptıkları çalışmalar neticesinde yeni ifadeler elde etmişlerdir. Yau ve Shuley (1998), Momentler Metodu'nu (MoM) açıklık kuplajlı beslenmiş mikroşerit antenlere uygulamış ve aynı zamanda Green Fonksiyonunu kullanarak elektrik alan ve yüzey akımı denklemlerini elde etmişlerdir. Yang ve diğ. (2001) mikroşerit yapısını E harfi şeklinde modifiye ederek mikroşerit antenin iki farklı frekansta, geniş bir bant aralığında çalışabilmesini sağlamışlardır.

Bu çalışmada; koaksiyel hat ile beslenmiş tek yamalı, E-şekli mikroşerit anten ele alınmıştır. Anten yamasına paralel yarıkların eklenmesi ile bant genişliği değişim gösterir. Yarıkların genişliği artırılıp azaltılarak arzu edilen bant genişliğine ulaşılır. Sadece uzunluk, genişlik ve yarıkların pozisyonu ayarlanarak yeterli performans elde edilebilir.

Tasarım için kullanılan yazılım CST-MWS yazılımıdır. GPS uygulamalarında, diğer frekanslardaki sinyal girişim etkisinden kaçınabilmek için dar bant genişliğine sahip antenler tercih edilir. Bu nedenle, %3.5'lik bant genişliğine sahip E-şekilli yama anten 1575.42 MHz frekansında rezonans olacak ve 1550 MHz – 1605 MHz frekans aralığını kapsayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu frekans aralığı, GPS uygulamaları için istenilen durumdur.



Şekil 2:

*Geniş-Bant E-Şekilli Mikroşerit Anteninin geometrisi
(a) Üstten görünüm (b) Yandan görünüm*

2. E-ŞEKİLLİ MİKROŞERİT ANTENLERİN PERFORMANS ÖZELLİKLERİ

Anten geometrisi Şekil 2'de gösterilmiştir. Üretimi, geleneksel geniş-bant mikroşerit antenlerden çok daha kolay olan bu anten sadece tek bir yamaya sahiptir. Yama boyutları uzunluk (L) ve genişlik (W) ile ve alt katman yüksekliği (h) ile parametrize edilmiştir. Anten (X_f , Y_f) pozisyonlarında koaksiyel kablo kullanılarak beslenmiştir. Antenin bant-genişliğini ayarlamak amacıyla, yarı genişliği (W_s) ile yarı uzunluğu ise yama uzunluğu (L), (ic) ve (dis) kalıntıları ile parametrize edilmiş birbirine paralel iki yarı bu yamaya eklenmiş ve besleme noktası simetrik olarak yerleştirilmiştir. Mikroşerit anten yapılarında alt katman (*substrate*) genellikle dielektrik sabiti $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$ aralığında olan materyallerden seçilmektedir (Balanis, 2005). Alt katmanın düşük dielektrik sabitine sahip olması yüksek verim ve bant genişliği sağlamaktadır (Pozar, 1992).

Bu anten yapısında, yüksek verim sağlanması açısından; dielektrik sabiti 2.2 olan Rogers RT5880 maddesi alt katman görevini üstlenmiştir. Ancak yüksek bant genişliği istenen uygulamalarda, dielektrik sabiti 1'e çok yakın olan hava, alt katman görevini üstlenebilir. Alt katman olarak herhangi bir maddenin kullanılmaması, antenin dayanıklılığına olumsuz etki yapmaktadır. Alt katman olarak Rogers RT5880 maddesinin seçilmesi, bu maddenin düşük maliyetli olup oldukça kolay bulunabilmesi nedeniyle. Anten yaması ve toprak levhası için yine çok kolay bulunabilen ve oldukça düşük maliyetli olan bakır seçilmiştir. Yama, şekil olarak E harfine benzediğinden dolayı; bu yapıya E-şekilli anten ismi verilmiştir.

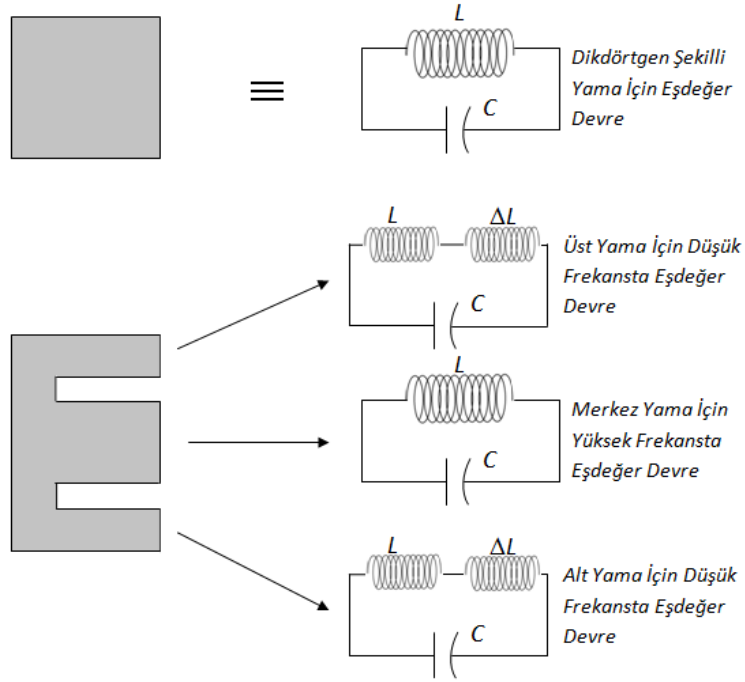
Şekil 2, E-şekilli yama antenin geniş-bant mekanizmasının temel fikrini göstermektedir. Mikroşerit yama antenler, LC rezonant devresi ile modellenebilmektedir. Beslemenin mikroşerit hatlı, apertür-kuplajlı, proksimite-kuplajlı ya da koaksiyel kablo ile yapılmasına bağlı olarak eşdeğer devre yapısı değişmektedir (Balanis, 2005). Üretim açısından içerinden en zor olanı

apertür-kuplajlı beslemedir. Bu besleme yöntemi aynı zamanda dar bir bant genişliğine neden olmaktadır. Proksimite-kuplajlı besleme, yüksek bir bant genişliği sunmasına rağmen maliyet ve üretim bakımından dezavantajlıdır. Mikroşerit hat ile besleme, kolay üretimi ve rezonans frekansındaki değişimlerin iletken boyutlarının değiştirilerek giderilebilmesi nedeniyle kullanışlıdır ancak alt katmanın yüksekliğinin yaptığı etki gibi istenmeyen ışımalar (*spurious radiation*) neden olduğundan bant-genişliğini sınırlamaktadır. Koaksiyel kablo ile besleme, kolay üretim ve istenmeyen ışımaların düşük seviyede olması nedeniyle oldukça kullanışlıdır ayrıca geniş bant aralığı sağlamaktadır. Fakat özellikle alt katman yüksekliği arttığında zor modellenebilmektedir (Balanis, 2005).

Tasarlanan antenin beslemesi koaksiyel kablo ile yapılmıştır. Akım akışı, besleme noktasından üst ve alt kenarlara doğrudur. L ve C değerleri, bu akım yolu uzunlukları ile belirlenir. Şekil 3'te görüldüğü üzere; yamaya iki yarık dahil edildiğinde rezonans özellikleri değişir. Yamanın orta kısmında, akımın akışı sıradan yama antenlerde olduğu gibidir: Başlangıç LC devresi ve başlangıç frekanslarındaki rezonansı gösterir. Bu etki, bir seri endüktans ΔL_s gibi modellenebilir (Zhang ve Yang, 1998). Bu nedenle eş değer devre daha düşük bir frekansta rezonant olmaktadır; antenin eş değer devresi tek bir rezonant devreden çift rezonant devreye değişir. Mikroşerit yama anten yapılarına paralel yarıkların eklenmesi işlemi, bant-genişliğini artırmak amacıyla yapılır. Yarıkların genişliği değiştirilerek bant-genişliği uygulama tiplerine uygun olarak değiştirilebilmektedir. Bu özelliğin tasarımcılar açısından önemi büyüktür. Bu çalışmada tasarımı yapılan anten yapısında, GPS uygulamaları için uygun bant genişliği, yarıklar arasındaki genişliğin artırılmasıyla sağlanmıştır.

Literatür incelendiğinde, E-şekilli antenlere ilişkin şu ana değin yapılmış olan çalışmaların önemli bir kısmının kablosuz iletişim uygulamalarına yönelik olduğu görülmektedir. Kronolojik bir sıra ile bakıldığında, ilk olarak Yang ve diğ. (2001) tarafından literatüre kazandırılan ve çalışma prensibi açıklanan bu tür antenler, ilerleyen yıllarda IEEE 802.11a standardını (Ang ve Chung, 2007; Tansarikaya, 2007), IEEE 802.11b/g/j/a ve 802.16d standartlarını (Rao ve diğ., 2006; Archevapanich ve diğ., 2007), bunların yanı sıra WiMAX standartlarını da (Guterman ve diğ., 2009) sağlayacak şekilde uyarlanmıştır. Ayrıca 3.02 ve 6.38GHz (Faiza ve diğ., 2012) veya 5 ve 7.5GHz (Gaur ve Soni, 2012), 12.7 ve 15.7GHz (Lin ve diğ., 2011) gibi standart dışı frekanslarda çalışmak üzere tasarlanmış çift-bant E-şekilli antenler de literatürde yer bulmuştur. Söz konusu yapılara ilişkin bir başka çalışma alanı ise, ilgili yapıların rezonans frekanslarını yaklaşık olarak hesaplayan kapalı form ifadeler bulmaya yöneliktir. Günel (2011) sürekli parametrelili genetik algoritma, Toktaş ve Akdağlı (2012) ise yapay arı kolonisi algoritmasına dayalı regresyon yaklaşımları ile rezonans frekanslarını yaklaşık olarak veren ifadeler türetmişlerdir. Bu ifadeler, nümerik çözüm yapan herhangi bir simülasyon programına erişim olanağı olmayan tasarımcılar için antenin geometrik özelliklerinin yaklaşık olarak hangi değerlerde seçilmesi gerektiğine dair birer kılavuz oluşturmaktadır.

Daha önce de belirtildiği üzere E-şekilli antenlerin Yang ve diğ. (2001) tarafından literatüre kazandırıldığı çalışmada, söz konusu yapının çeşitli haberleşme uygulamalarında kullanılabilecek geniş bant aralığına sahip çift rezonans frekanslı bir anten olduğuna dair vurgu yapılmakta; elde edilen sonuçlar da bu savı desteklemek yönündedir. Tarafımızca yapılmış olan ve bu makaleye konu olan çalışmada ise E-şekilli yama antenin topolojik şekli üzerinde oynamalar yapılarak Geri Dönüş Kaybı (*Return Loss*) değerlerinin düşürülmesi ve bant genişliğinin ayarlanması hedeflenmiştir. Bu çalışmada ayrıca, E-şekilli anten yaması parametrelerinin; anten performansına olan etkileri de ileriki paragraflarda görüleceği üzere ayrıntılı şekilde incelenmiştir.



Şekil 3:

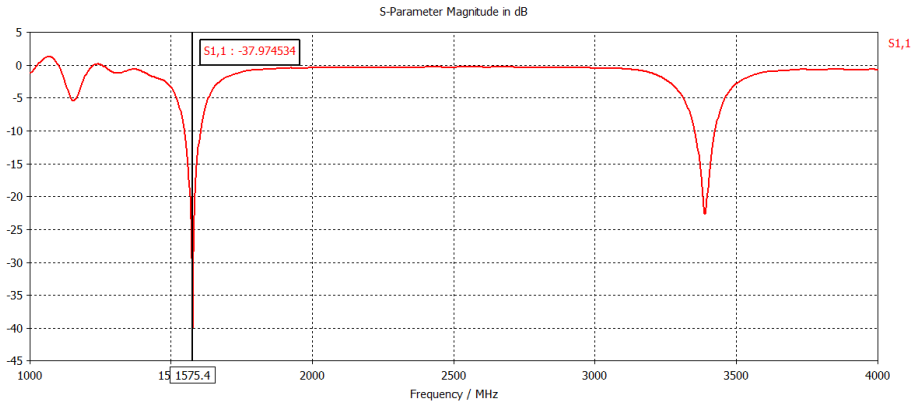
*E-Şekilli Mikroşerit Antenin geniş-bant mekanizması
(Yang ve diğ. (2001)'den uyarlanmıştır)*

3. 1575.42 MHz FREKANSINDA (L1 FREKANSI) ÇALIŞAN E-ŞEKİLLİ MİKROŞERİT ANTENİN TASARIMI

E-şekilli mikroşerit anten, bu kısımda GPS uygulamaları için L1 frekansında çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Tasarımı yapılan bu antenin parametreleri aşağıdaki gibidir (milimetre cinsinden):

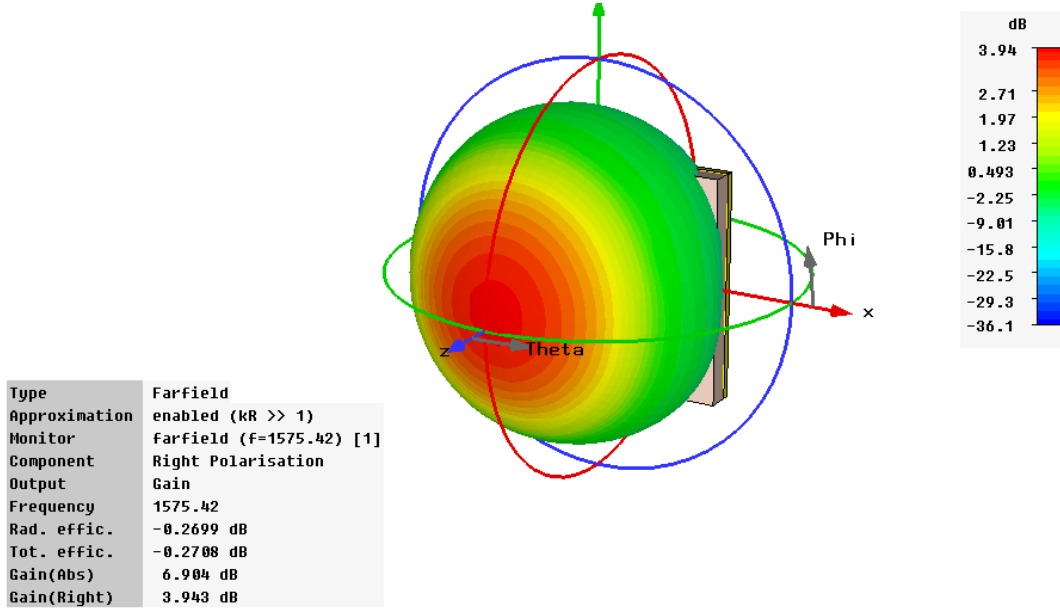
$$(L, W) = (46, 57.25); h = 10; (X_f, Y_f) = (-14, 0); W_s = 47; ic = 1.5; dis = 1.5$$

Bu tasarımda, CST yazılımıyla antenin bant genişliği %3.5 olarak bulunmuştur. Şekil 4'te E-şekilli yama antenin S_{11} parametre grafiği, Şekil 5'te ise bu antenin 1575.42 MHz'deki 3 boyutlu sağ el dairesel polarizasyon (RHCP) kazanç grafiği görülmektedir.



Şekil 4:

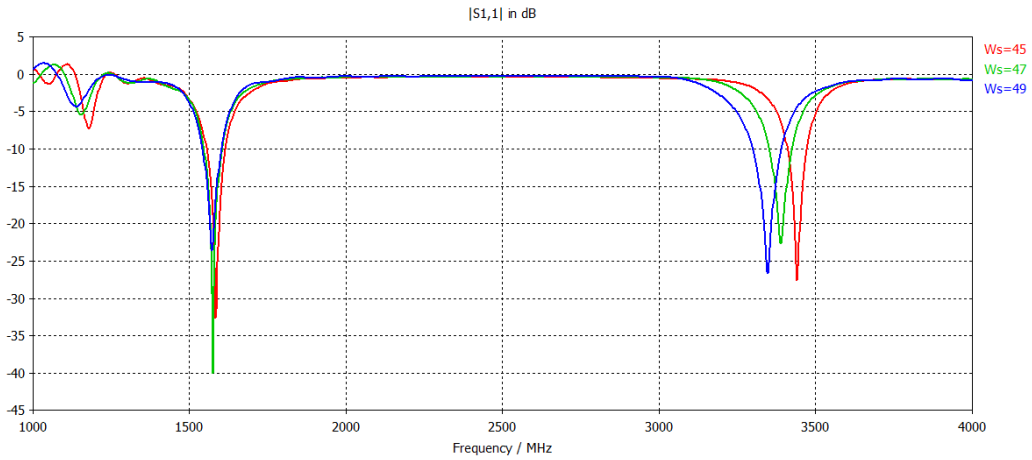
S_{11} parametresi şiddet-frekans (dB) grafiği



Şekil 5:
1575.42MHz'deki RHCP kazanç grafiği

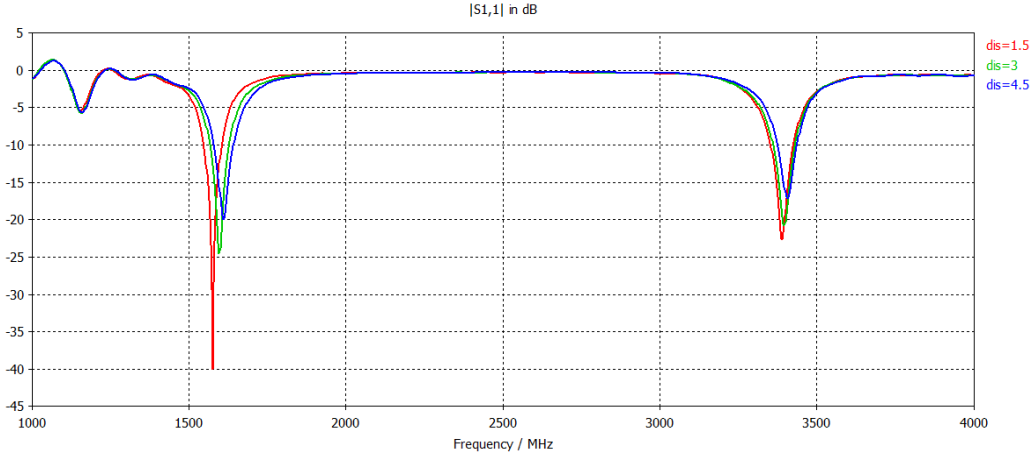
E-şekli yama antenler, genellikle yüksek bant genişliğine sahip olmaları nedeniyle oldukça kullanışlıdır. E-şekli yama antenin sahip olduğu yarıklar, bant davranışını kontrol etmede önemli bir role sahiptir. Bu çalışmada yarıklar şu parametreler ile karakterize edilmiştir: Yarık genişliğini karakterize eden (W_s) ile yarık uzunluğunu karakterize eden yama uzunluğu (L), (ic) ve (dis) kalıntıları. Bu parametrelerin rezonans frekanslarına olan etkileri Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de gösterilmiştir.

Şekil 6'da görüldüğü üzere yarık genişliği rezonans frekanslarını karakterize etmek için kullanılan önemli bir parametredir. Bu parametre (W_s), yüksek rezonans frekansı üzerinde etkiliyken düşük rezonans frekansı üzerinde etkili değildir. Yüksek rezonans frekansı, yarık genişliğinin artması ile düşer, yarık genişliğinin azalmasıyla da artar.

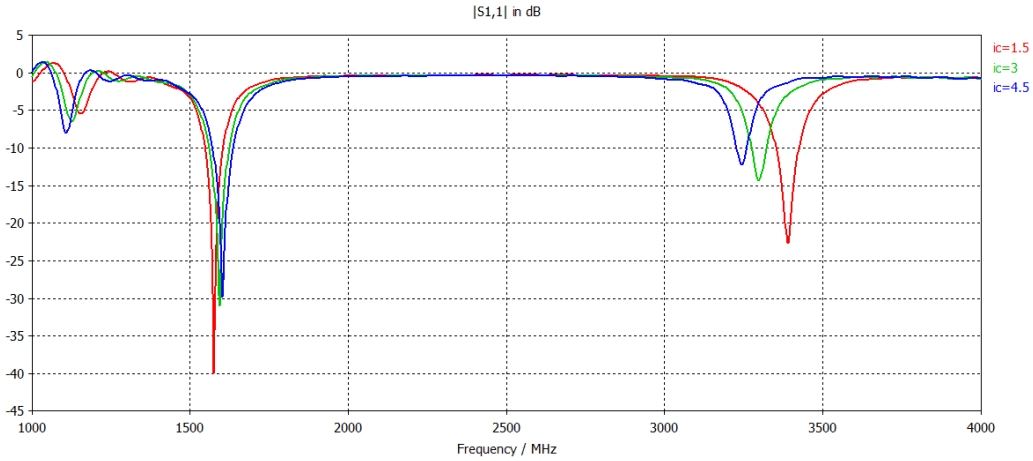


Şekil 6:
 W_s 'nin S_{11} parametresine olan etkisi

Şekil 7 ve Şekil 8’de anten yamasına yarık eklenmesi ile oluşan iç ve dış kalıntıların S_{11} parametresine olan etkileri gösterilmiştir. Buna göre yarıklar ile anten yaması arasında kalan dış bölgenin (*dis*) genişliğinin azalması geri dönüş kaybının düşmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle, bu dış bölgeler daraltılarak geri dönüş kaybının düşmesi sağlanmıştır. Anten yamasının iç kısmında kalan çıkıntının (*ic*) ise yüksek rezonans frekansı ve bu frekanstaki geri dönüş kaybı üzerinde büyük etkisi vardır. Bu parametre (*ic*) aynı zamanda düşük rezonans frekansındaki geri dönüş kaybı üzerinde de etkilidir.

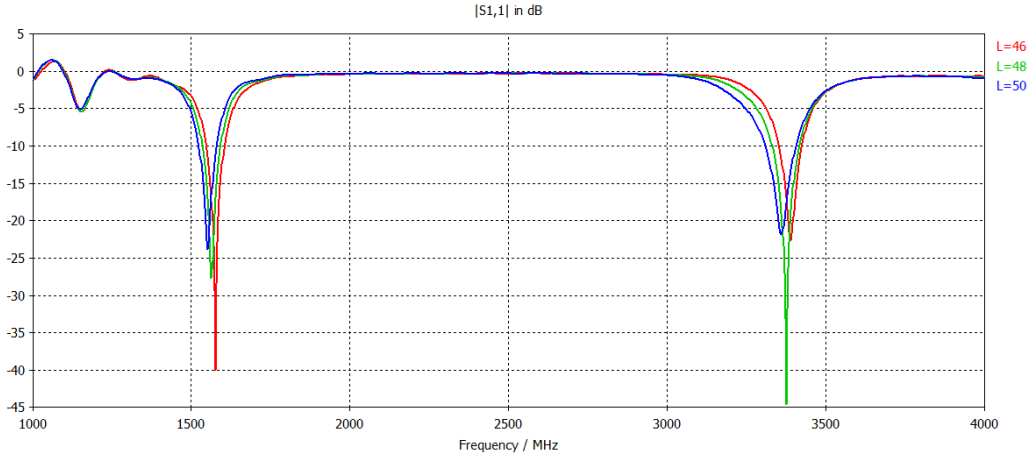


Şekil 7:
dis parametresinin S_{11} parametresine olan etkisi

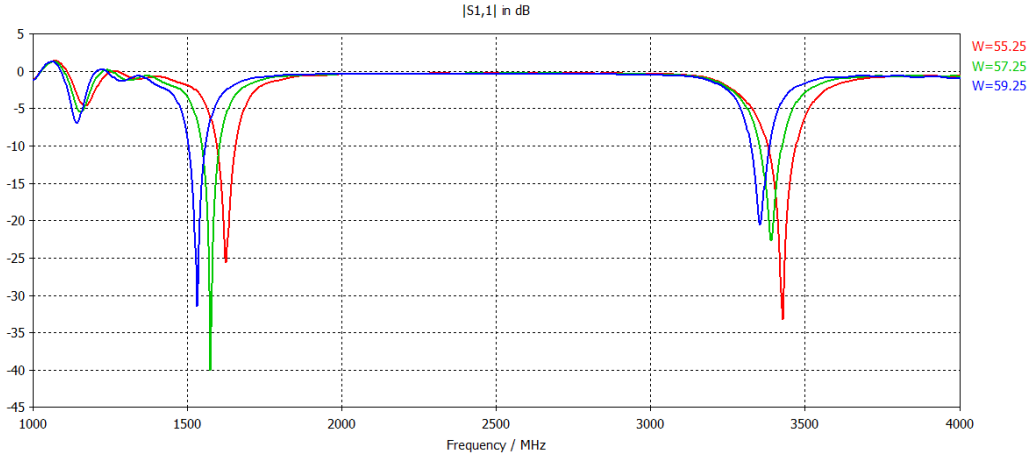


Şekil 8:
ic parametresinin S_{11} parametresine olan etkisi

Yama boyutları uzunluk (L) ve genişlik (W) ile parametrize edilen E-şekilli yama antenin, yama uzunluğunun rezonans frekansı değiştirici bir etkisi yoktur. Bu parametre (L), geri dönüş kaybı değerlerini değiştirmektedir. Optimal performans için, antenin istenilen rezonans frekansı yakalandıktan sonra yama uzunluğu ayarlanmıştır. Bu sayede rezonans frekansında -40 dB'nin altında geri dönüş kaybı değerine ulaşılmıştır. Yama genişliği ise rezonans frekanslarını karakterize eden ana parametredir. Bu parametrenin (W) küçülmesiyle her iki rezonans frekansı da artarken, büyümesiyle her iki rezonans frekansı da azalır. Şekil 9 ve Şekil 10'da yama boyutlarının rezonans frekanslarına olan etkileri gösterilmiştir.

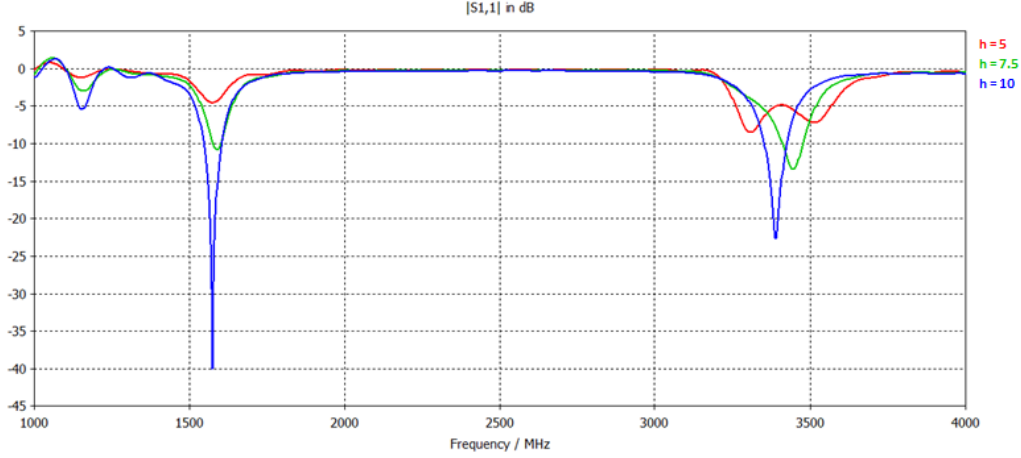


Şekil 9:
L'nin S_{11} parametresine olan etkisi



Şekil 10:
W'nun S_{11} parametresine olan etkisi

Toprak levhası ve alt katman boyutları, uzunluğun (sub_L), genişliğin (sub_W) ile parametrize edilmesiyle karakterize edilmiştir. Bu parametrelerin anten performansına etkisi bulunmamaktadır. Alt katman yüksekliği de (h) ile parametrize edilmiştir. Alt katman yüksekliğinin artması, Şekil 11'de de görüldüğü üzere geri dönüş kaybının azalmasını sağlar. Ancak alt katman yüksekliğinin çok fazla artması anten boyutlarını artırıcı yönde bir dezavantaja da yol açar. Yapılan tasarımda, geri dönüş kaybı ve bu parametre arasındaki denge sağlanmıştır.



Şekil 11:
h'nin S_{11} parametresine olan etkisi

4. SONUÇ

Bu çalışmada; mikrodalga antenleri içerisinde kullanım alanı oldukça yaygınlaşan mikroşerit antenlerin özel bir çeşidi olan ve kolay optimize edilebilme, yüksek bant genişliği sağlayabilme gibi özellikleriyle ön plana çıkan, E-şekilli mikroşerit anten yapısı incelenmiştir.

GPS uygulamalarında kullanılacak, sağ el dairesel polarize (RHCP) dalgaları alabilen ve 1575.42 MHz frekansında (L1 frekansı), -40 dB geri dönüş kaybı seviyesinin altında rezonans olan bir E-şekilli mikroşerit anten tasarımı yapılmıştır. Anten modelinin geometrik özellikleri, CST MWS yazılımı ile parametrize edilerek simülasyonu yapılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır. E-şekilli antenlerin sağladığı yüksek bant genişliği sayesinde; bu bant genişliği istenilen seviyede olacak şekilde daraltılarak, antenin 1550 MHz – 1605 MHz frekans aralıklarında çalışabilmesi sağlanmıştır. Ayrıca anten alt katmanı (*substrate*) olarak; dayanıklı, düşük maliyetli olan bir dielektrik madde seçilmiş ve ince bir tabaka halinde kullanılmıştır.

Bu çalışmada, L1 frekansında çalışan bir anten yapılmış olmasına rağmen antenin çift rezonans frekanslı olduğu görülmektedir. Yapılan parametrisasyon çalışmaları ile Şekil 10'da görüldüğü üzere W parametresinin her iki rezonans frekansı üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca Şekil 6 ve Şekil 8'de görüldüğü üzere W_s ve ic parametrelerinin, düşük rezonans frekansında (L1 frekansı) değil de, yüksek rezonans frekansında etkili olduğu görülmüştür. Bu sayede, bu çalışma kapsamında tasarımcının L1 frekansını koruyarak üst çalışma frekansını ayarlamasını sağlayan bir tasarım kılavuzu oluşturulmuştur.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, gerek makalenin incelenmesi esnasında harcadıkları zaman ve emeklerinden, gerekse makalenin kalitesinin artırılmasına yönelik değerli görüş ve önerilerinden ötürü sayın hakemlere teşekkürü bir borç bilir.

KAYNAKLAR

1. Ang, B.-K., and Chung, B.-K. (2007). A Wideband E-Shaped Microstrip Patch Antenna for 5-6 GHz Wireless Communications, *Progress in Electromagnetics Research – PIER*, vol. 75, pp. 397-407.

2. Archevapanich, T., Nakasuwan, J., Songthanapitak, N., Anantrasirichai, N., and Wakabayashi, T. (2007). E-Shaped Slot Antenna for WLAN Applications, *PIERS Online*, vol. 3, no. 7, pp. 1119-1123.
3. Balanis, C.A. (2005). *Antenna Theory Analysis and Design*, John Wiley & Sons, New York.
4. Bhattacharyya, A.K., Shafai, L and Gary, R. (1991). Microstrip Antenna – A Generalized Transmission Line, *Progress in Electromagnetic Research*, vol. 4, pp. 45-84.
5. Carver, K. and Mink, J.W. (1981). Microstrip Antenna Technology, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 29, pp.2-24.
6. Faiza, Z., Ali, M.T., Subahir S., and Yusof A.L. (2012). Design of Reconfigurable Dual-Band E-Shaped Microstrip Patch Antenna, *International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCCE 2012)*, pp. 113-117.
7. Gaur, N. and Soni, D. (2012). E-Shaped Slotted Microstrip Antenna with Enhanced Gain for Wireless Communication, *International Journal of Electronics and Computer Science Engineering*, vol. 1, no. 2, pp. 436-441.
8. Guterman, J., Moreira, A.A., Peixeiro C., and Rahmat-Samii, Y. (2009). Reconfigurable E-Shaped Patch Antennas, *IEEE International Workshop on Antenna Technology (iWAT 2009)*, pp. 1-3.
9. Günel, T. (2011). Modified Resonant Frequency Calculation for E-Shaped and H-Shaped Microstrip Patch Antennas, *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 53, no. 10, pp. 2348-2351.
10. Kumar, G. and Gupta, K.C. (1985). Directly coupled multiple resonator wide band microstrip antenna, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. AP-33, pp. 588-593.
11. Lin, W., Xie, X.-Q., Bo, Y., and Feng, L. (2011). Design of a broadband E-shaped microstrip antenna, *2011 Cross Strait Quad-Regional Radio Science and Wireless Technology Conference*, pp. 386-388.
12. Patel, S.S., Soni, H.B., Patel, S.K., and Kosta, Y.P. (2011). E-shaped Patch Antenna Analysis for Multiple Applications, *2011 3rd International Conference on Electronics Computer Technology (ICECT)*, vol. 5, pp. 258-263.
13. Pozar, D.M. (1992). Microstrip Antennas, *Proceedings of the IEEE*, vol. 80, no. 1, pp. 79-81.
14. Rao, G.P., Agarwal, K., Kartikeyan M.V., and Thumm, M. K. (2006). Wideband Single Patch E-Shaped Compact Microstrip Antenna for High Speed Wireless Local Area Networks”, *German Microwave Conference*, pp. 1-3.
15. Sullivan, P.L. and Schaubert, D.H. (1986). Analysis of An Aperture Coupled Microstrip Antenna, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 34, pp. 977-984.
16. Tansarıkkaya, İ. (2007). *Geniş Bandlı Yama Anten Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
17. Toktaş, A. ve Akdağlı, A. (2012). E Şekilli Kompakt Mikroşerit Antenlerin Rezonans Frekansının Hesaplanması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, cilt 27, no. 4, 847-854.
18. Virga, K.L. and Rahmat-Samii, Y. (1997). Low Profile Enhanced-Bandwidth PIFA Antennas for Wireless Communications Packaging, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 45, pp. 1879-1888.

19. Yang, F., Zhang, X.X., Ye, X., and Rahmat-Samii Y. (2001). Wideband E-Shaped Patch Antennas for Wireless Communications, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 49, pp. 1094-1100.
20. Yau, D. and Shuley, N.V. (1998). Numerical Analysis of An Aperture Coupled Microstrip Patch Antenna Using Mixed Potential Integral Equations and Complex Images, *Progress in Electromagnetic Research*, vol. 18, pp. 229-244.
21. Zhang, X.-X. and Yang, F. (1998). The Study of Slit Cut on The Microstrip Antenna and Its Applications, *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 18, no. 4, pp. 297-300.

Makale 22.04.2013 tarihinde alınmış, 19.11.2013 tarihinde düzeltilmiş, 25.02.2014 tarihinde kabul edilmiştir.

