

SİLİNDİRİK YÜZEYLERDE UTD İLE MİKROŞERİT ANTEN ANALİZİ

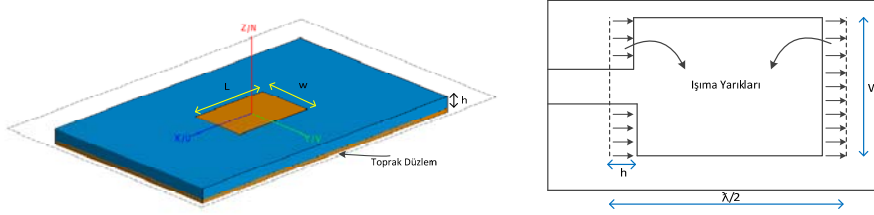
Başak TULAY ARSLAN, Birsen SAKA*
Türk Havacılık ve Uzay Sanayii AŞ.
Fethiye Mah., Havacılık Blv., 06980, Akıncı
Ankara
btulay@tai.com.tr

*Hacettepe Üniversitesi
Elektronik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 06800, Beytepe
Ankara
birsen@hacettepe.edu.tr

Özet: Mikroşerit antenler ve dizileri kullanım kolaylığı, hafiflikleri, düşük maliyetleri ve minimum aerodinamik etkileri nedeni ile uçak, uydu, füze ve roket gibi hava araçlarında oldukça sık kullanılır. Bu çalışmada, basit silindir olarak modellenen yapı üzerine yerleştirilen mikroşerit anten yayılımı, Düzgün Kırınım Teorisi (UTD) kullanılarak analiz edilmiş ve Momentler Metodu (MoM) ile sonuçlar karşılaştırılmıştır. Analizde farklı çaplarda ve uzunluklarda silindirler ele alınmıştır.

1. Giriş

Mikroşerit antenler modern hava araçlarında GPS, Radalt ve telemetri sistemlerinde sıkça kullanılan anten çeşitlerindendir. Geleneksel mikroşerit yama anten yapısı Şekil 1(a)'da görüldüğü gibi bir toprak düzlem üzerinde aynı taban alanına sahip bir yalıtkan alttaş ve onun üzerinde bulunan iletken yamadan meydana gelir. Şekilde L iletken yamanın uzunluğunu, W genişliğini, h dielektrik alttaşın yüksekliğini ifade etmektedir.



Şekil 1 Mikroşerit Yama Anten

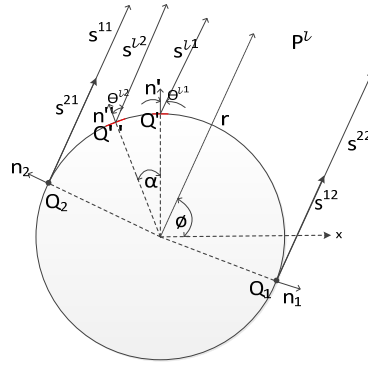
a) Yapısı b) Işıma Yarıkları

Mikroşerit antenlerden ışıma, Şekil 1b'de gösterildiği gibi iletken yamanın kenarları ile toprak düzlem arasındaki yarıklardan oluşur. Bu çalışmada hava aracı yapısı üzerine yerleştirilmiş dikdörtgen yamalı mikroşerit anten yayılımı problemi UTD teknikleri ile analiz edilmiştir. Bu analizde hava aracı mükemmel iletken silindir olarak kabul edilmiş, üzerindeki mikroşerit anten ise h genişliğinde ve birbirinden $\lambda/2$ uzaklıkta iki eksenel yarık olarak modellenmiştir. Silindir üzerinde yarıktan ışımanın UTD ile analizi üzerinde yapılmış çalışmalar [1-3] doğrudan kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerin doğruluğu ise, 3- boyutlu silindir üzerine yerleştirilmiş mikroşerit antenin MoM tabanlı FEKO® programı sonuçları ile sınanmıştır.

2. UTD Analizi

2.1 Aydınlık Bölge Yayılımı

Silindir üzerinde birbirinden l mesafe kadar uzağa yerleştirilen eksenel yarık antenler ve antenlerin aydınlık bölgeye yayılım prensibi Şekil 2 ile gösterilmiştir. Eksenel yarıklar, düzgün elektrik alan dağılımına sahip $M^2=2$ manyetik çizgi kaynağı ile gösterilebilmektedir [3]. Aydınlık bölgede her bir manyetik çizgi kaynağından birer tane direkt giden ışın ve her bir kaynak için ikişer tane yüzey kırınım ışını söz konusudur. Birinci kaynak Q' noktasına yerleştirilmişken ikinci kaynak şekilde gösterildiği gibi Q'' noktasına yerleştirilmiştir. Aralarında α açısı kadar bir mesafe söz konusudur. $\vec{s}^{(1)}$ birinci kaynaktan direkt giden ışının mesafe vektörü iken $\vec{s}^{(2)}$ ikinci kaynaktan giden direkt ışının mesafe vektörüdür.



Şekil 2 Silindir Üzerine Yerleştirilen Yarık Antenlerden Aydınlik Bölgeye Ulaşan Işımlar

\hat{n}' , Q' noktasındaki yüzey normali, \hat{n}'' ise, Q'' noktasındaki yüzey normalidir. \vec{s}^{11} , \vec{s}^{12} , \vec{s}^{21} ve \vec{s}^{22} vektörleri sırasıyla birinci ve ikinci kaynağın yüzeyden ayrılma noktaları Q_1 ve Q_2 'den gözlem noktasına giden ışınların mesafe vektörüdür. Gözlem noktası uzak alanda seçildiğinden her iki kaynak için yüzey kırınım ışınlarının yüzeyden ayrılma noktaları aynıdır. \hat{n}_1 ve \hat{n}_2 ışınların yüzeyden ayrılma noktalarının normalleridir. \hat{r} silindir merkezi ile gözlem noktası arasındaki mesafe vektörü ve θ açısı bu vektör ile x -ekseni arasındaki açı olarak tanımlanmıştır. θ^{11} ve θ^{12} açıları her bir kaynak noktasındaki yüzey normali ile direkt ışınları arasında kalan açıdır. Manyetik çizgi kaynaklarının P_1 aydınlık bölge gözlem noktasında direkt ışınım ile oluşturdıkları toplam alan aşağıda verilmektedir.

$$E_n(P_1) \sim M^2 \left[\frac{\sin(\frac{kw}{2}) \sin \theta^{11}}{(\frac{kw}{2} \sin \theta^{11})} \right] \hat{D}_{11} \hat{n}_{11} H(\xi_{11}) \frac{e^{-jkr_{11}}}{\sqrt{r_{11}}} + M^2 \left[\frac{\sin(kw/2) \sin \theta^{12}}{(kw/2 \sin \theta^{12})} \right] \hat{D}_{12} \hat{n}_{12} H(\xi_{12}) \frac{e^{-jkr_{12}}}{\sqrt{r_{12}}} \quad (1)$$

Burada k dalga sayısını, w yarık antenin genişliğini, $H(\xi_n)$ n.ışın Fock fonksiyonunu, ξ_n Fock parametrelerini göstermektedir. Ayrıca 1. indis birinci manyetik çizgi kaynağını temsil ederken 2. indis ikinci manyetik akım kaynağını temsil etmektedir. \hat{D}_1 ve \hat{n}_1 vektörleri Q' noktasındaki yüzey binormal ve normal vektörleridir. ($\hat{D}_1 = \hat{D}_1 \times \hat{n}$). Aydınlik bölge Fock parametresi ise şu şekilde hesaplanmaktadır.

$$\xi^1 = -m(Q^1) \cos(\theta^1) \quad (2)$$

Burada yer alan $m(Q^1)$ yüzey eğrilik parametresidir ve eşitlik (3) ile verilmiştir.

$$m(Q^1) = \left(\frac{R_0}{r} \right)^{1/3} \quad (3)$$

Burada a silindir yarıçapıdır. Ayrıca uzak alan yaklaşımı gereği $1/\sqrt{s^{11}} \approx 1/\sqrt{s^{12}} \approx 1/\sqrt{r}$ dir ve aralarındaki direkt ilişki şu şekildedir.

$$s^{11} = r - a \sin(\theta) \quad (4)$$

$$s^{12} = r - a \sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta^{12}\right) \quad (5)$$

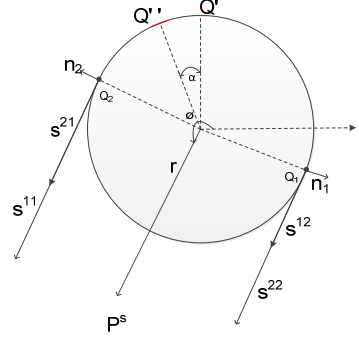
Aydınlik bölgede dört yüzey kırınım ışınının oluşturduğu toplam alan ise aşağıdaki eşitlik ile verilmektedir.

$$E_n(P_1) \sim M^2 \left[\frac{\sin(\frac{kw}{2})}{(\frac{kw}{2})} \right] \left[\hat{D}_{11} \hat{n}_{11} H(\xi_{11}) \frac{e^{-jkr_{11}}}{\sqrt{r_{11}}} + \hat{D}_{12} \hat{n}_{12} H(\xi_{12}) \frac{e^{-jkr_{12}}}{\sqrt{r_{12}}} \right] + M^2 \left[\frac{\sin(kw/2)}{(kw/2)} \right] \left[\hat{D}_{21} \hat{n}_{21} H(\xi_{21}) \frac{e^{-jkr_{21}}}{\sqrt{r_{21}}} + \hat{D}_{22} \hat{n}_{22} H(\xi_{22}) \frac{e^{-jkr_{22}}}{\sqrt{r_{22}}} \right] \quad (6)$$

Eşitlik (1) ve (6) ile verilen tüm parametrelerin tanımları ve nasıl elde edildikleri [1-3] kaynaklarında ayrıntılı olarak verilmiştir. 11. indis birinci manyetik çizgi kaynağının birinci yüzey kırınım ışını temsil ederken, 12. indis birinci manyetik akım kaynağının ikinci yüzey kırınım ışını temsil etmektedir. 21 ve 22 indisleri için de aynı durum geçerlidir. Yine binormal ve normal vektörleri arasındaki ilişki aynıdır ve uzak alan yaklaşımı gereği yine birinci ve ikinci kaynaklar için bu birim vektörler eşittir. Aydınlik bölgede oluşan toplam alan bu dört yüzey kırınım ışını ile eşitlik (1) ile verilen iki direkt ışının toplamından oluşmaktadır.

2.2 Gölge Bölge Yayılımı

Gölge bölgede sırası ile Q' kaynak noktasından saat yönünde ilerleyen ışın Q₁ ayrılma noktasında yüzeyi terk ederken saat yönünün tersinde ilerleyen ışın Q₂ noktasında yüzeyi teğet olarak terk eder, Q'' ikinci manyetik çizgi kaynağı için de aynı durum geçerlidir. Bu ışınlar ve yüzey vektörleri Şekil 3'de gösterilmektedir.



Şekil 3 Silindir Üzerine Yerleştirilen Yarık Antenlerden Gölge Bölgeye Ulaşan Işınlar

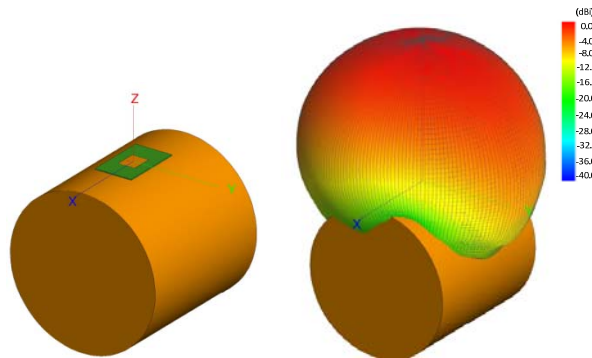
Bu ışınların gölge bölge gözlem noktası P_s 'de oluşturdukları toplam alan aşağıda ifade edilmektedir.

$$E_n(P_s) \sim M^2 \left[\frac{\sin(\frac{\pi}{2})}{\frac{\pi}{2}} \right] \left[\hat{D}_{11} \hat{A}_{11} H(\xi_{11}) e^{-j k r_{11}} \frac{e^{-j k r_{11}}}{\sqrt{r_{11}}} + \hat{D}_{12} \hat{A}_{12} H(\xi_{12}) e^{-j k r_{12}} \frac{e^{-j k r_{12}}}{\sqrt{r_{12}}} \right] + M^2 \left[\frac{\sin(\frac{\pi}{2})}{\frac{\pi}{2}} \right] \left[\hat{D}'_{11} \hat{A}'_{11} H(\xi'_{11}) e^{-j k r'_{11}} \frac{e^{-j k r'_{11}}}{\sqrt{r'_{11}}} + \hat{D}'_{12} \hat{A}'_{12} H(\xi'_{12}) e^{-j k r'_{12}} \frac{e^{-j k r'_{12}}}{\sqrt{r'_{12}}} \right] \quad (7)$$

3. Sonuçlar ve İrdeleme

Çalışmada hava araçlarında genellikle mikroşerit yama anten kullanan Radalt (Radar Altimetre) anteni yayılımı UTD ve MoM hesaplama teknikleriyle ayrı ayrı elde edilmiştir. Çalışma frekans aralığı 4200-4400 MHz olan sistem için rezonans frekansı 4300 MHz olan bir yama antenin boyutları iletim hattı modeli temel alınarak hesaplanmıştır. Dielektrik sabiti 2.2 ve alttaş kalınlığı $h=1.588$ mm olarak seçildiğinde 4300 MHz rezonans frekansı için antenin boyutları $L=22.634$ mm, $W=27.578$ mm olarak bulunmuştur.

Öncelikle MoM tabanlı analiz programı FEKO®'da CADFEKO® arayüzü aracılığı ile yarıçapı 10 cm ve boyu 20 cm olan bir silindir modellenmiştir. Modellenen bu 3-boyutlu silindir üzerine özellikleri yukarıda tanımlanan mikroşerit anten Şekil 4(a)'da gösterildiği gibi yerleştirilmiştir. MoM analizi için silindir ve yama anten yüzeyi 5.7 mm boyutlarında örülmüş ve besleme noktası merkezden 6.8 mm uzağa yerleştirilmiştir. Sonrasında uzak alan yayılımı elde edilmiştir. Şekil 4(b) anten kazancını silindir üzerinde 3-boyutlu olarak göstermektedir.

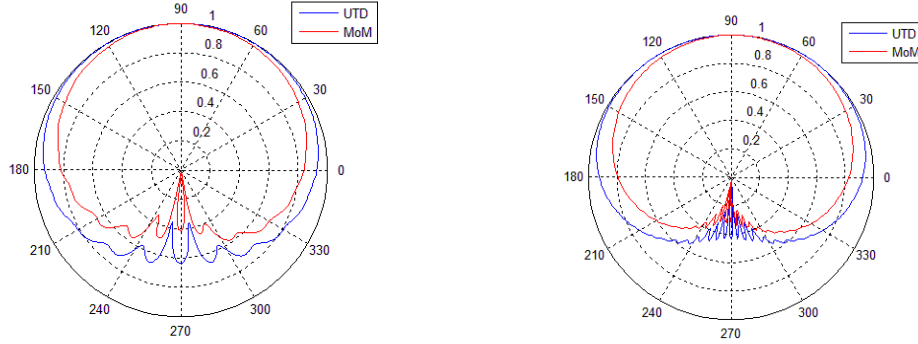


Şekil 4 Silindir Üzerine Yerleştirilmiş Radalt Anteni (Silindir Yarıçapı=1.4λ Silindir Boyu=2.8λ)

a) 3-Boyutlu Görünüm b) Toplam Anten Kazancı

MoM ile hesaplamada 4300 MHz çalışma frekansı için elektriksel olarak büyük olan geometrilerde oldukça yüksek hafızaya sahip donanım gerektirmesi nedeni ile silindir boyutları ancak yarıçapı $a=30$ cm-boyu $d=100$ cm'ye kadar büyütülebilmektedir. Analiz sonucu elde edilen veriler Şekil 5'de karşılaştırmalı olarak aynı antenin farklı silindir boyutları üzerine yerleştirildiği durumlar için verilmiştir. UTD ve MoM ile elde edilen yayılma

örüntüleri birbirlerine oldukça yakındır. UTD ile analiz yöntemin doğruluğuna l2 norm hata analizi ile bakılmış ve Şekil 5(a) ve 5(b) için l2 norm oranları, sırasıyla, 0.9058 ve 0.9170 olarak elde edilmiştir.



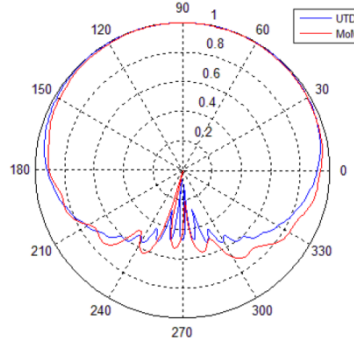
Şekil 5 Yama Anten MoM ve UTD Yayılımları

$f=4300$ MHz, $L=22.634$ mm, $W=27.578$ mm, $\epsilon=2.2$

a) Silindir Yarıçapı= 1.4λ Silindir Boyu= 2.8λ b) Silindir Yarıçapı= 4.3λ Silindir Boyu= 8.6λ

Benzer bir analiz GPS L2 frekansında yani 1217 MHz’de tekrarlanmıştır. Öncelikle L2 frekansında bir yama anten tasarlanmıştır. Dielektrik sabiti 4.6 ve alttaş kalınlığı $h=0.254$ mm olarak seçildiğinde 1217 MHz rezonans frekansı için antenin boyutları $L=44.123$ mm, $W=73.658$ mm olarak hesaplanmıştır.

MoM analizi için CADFEKO® arayüzü aracılığı ile yarıçapı 70 cm ve boyu 140 cm olan bir silindir üzerine anten yerleştirilmiştir. UTD ve MoM analiz sonuçları ortak bir polar çizimde Şekil 6’da gösterilmektedir. Bu çalışma için elde edilen l2 norm oranı 0.9726’dır. Yayılım örüntülerinin uyumu ve l2 norm oranı, UTD ile silindirik yüzeyler üzerine yerleştirilmiş mikroşirt anten analizinin kayda değer doğrulukta gerçekleştirilebileceğini göstermektedir [4].



Şekil 6 Yama Anten Yayılımı (Silindir Yarıçapı= 2.8λ Silindir Boyu= 5.7λ)

Kaynaklar

- [1]. Pathak, Prabhakar H., Wang, Nan, Burnside, Walter D., Kouyoumjian, Robert G., 1981, A Uniform GTD Solution for the Radiation from Sources on a Convex Surface, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. Ap-29, No. 4
- [2]. Pathak, Prabhakar H., Kouyoumjian, Robert G., 1974, An Analysis of the Radiation from Apertures in Curved Surfaces by the Geometrical Theory of Diffraction, Proceedings of the IEEE, Vol. 62, No.11
- [3]. Notes for the Short Course on the Modern Geometric Theory of Diffraction, Ohio State University
- [4]. Tulay Arslan, B., 2012, Silindirik Yüzeylerdeki Yarık ve Yama Antenlerin Yayılım ve Bağlaşımı, Master Tezi, Hacettepe Üniversitesi