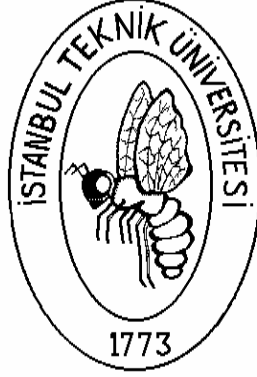


İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

Elektrik Elektronik Fakültesi



İnsansız Hava Araçları için 2.4 GHz Karesel Yarık Mikroşerit Anten Dizisi ile Anten İzleyici Tasarım

Tuğrul Açıkgöz
Elektrik Elektronik Fakültesi
İstanbul Teknik Üniversitesi
Türkiye
aciktugrul@gmail.com

Farabi Ahmed Tarhan
Elektrik Elektronik Fakültesi
İstanbul Teknik Üniversitesi
Türkiye
farabiahmed@gmail.com

Danışmanlar :

Araş. G. Osman Ceylan
Elektrik Elektronik Fakültesi
İstanbul Teknik Üniversitesi
Türkiye
ceylanos@itu.edu.tr

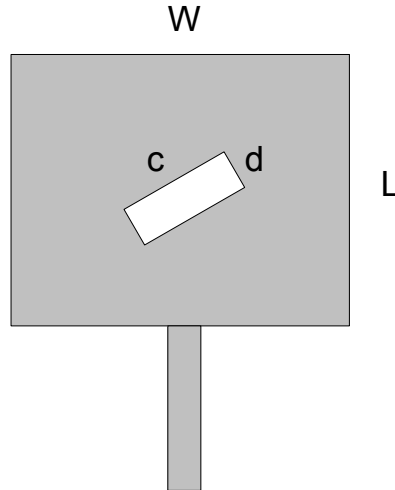
Dr. Yük. Müh. H. Bülent Yağcı
Elektrik Elektronik Fakültesi
İstanbul Teknik Üniversitesi
Türkiye
bulent.yagci@itu.edu.tr

1. Giriş

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte, bilginin bir noktadan diğer bir noktaya hatasız ve istenilen biçimde iletilmesi çok büyük bir önem kazanmıştır. Bilginin doğru iletilmesinin yanında, bilgi iletiminin maliyeti ve kullanılacak alan da büyük önem taşımaya başlamıştır. Bütün bu ihtiyaçlar doğrultusunda 1970'lerin ilk yıllarında mikroşerit antenlerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Mikroşerit antenler boyutları ve tasarım maliyetleri yönünden cazip gelmesine rağmen band genişlikleri ve kazançları açısından negatif özelliklere sahiptirler. Kazanç ve band genişliğini arttırmak amacı ile anten dizileri kullanılmaya başlanmıştır [1]. Bu çalışmada 2.4 GHz'de çalışan karesel yarıklı mikroşerit yama anten kullanılarak, anten dizisinin tasarlanması ve insansız hava taşıtları ile video gönderilmesi anlatılmaktadır. Mikroşerit antenler boyutlarının küçüklüğü ve düşük maliyetleri nedeniyle RF uygulamalarında daha çok tercih edilen yapılardır. Tasarlanan antenler öncelikle bilgisayar ortamında simülasyon yapılarak kontrol edilmiştir. Antenler 1.6 mm kalınlığında FR4 ($\epsilon_r = 4.4$) tabana yapılmış ve simülasyon için Ansoft HFSS yazılımı kullanılmıştır [2]. Anten gerçekleştirildikten sonra insansız hava aracından video gönderilmesi için kullanılmıştır. Hava aracındaki video vericisi, kameradan aldığı sinyalleri 2.4Ghz bandına modüle ederek yüksek kazançlı anten dizisi ile ortama yaymaktadır. Yayılan video bilgileri yer istasyonundan alınmıştır.

2. Anten Analiz ve Tasarımı

Mikroşerit anten tasarımı matematiksel işlemler ve bilgisayar benzetimi kısımlarından oluşmaktadır. Bu bölümde ölçümler için yarık anten dizisi tasarımı için yarık mikroşerit anten tasarımı anlatılacaktır. İkinci olarak karesel yarık anten tasarımı yapılmıştır. Yapılan karesel yarık anten, anten dizisi yapımında kullanılacaktır. Karesel mikroşerit antenler boy (L) ve en (W) uzunluklarının birbirine eşit olarak seçilmesi ile oluşturulmaktadır. Radyo dalgalarının iletiminde polarizasyon uyumu çok büyük önem taşımaktadır ve iletim aşamasında polarizasyon dönmeleri yaşanabilmektedir. Polarizasyon dönmesi etkisini azaltmak için dairesel polarizasyon kullanılabilir. Karesel antene yarık açılması ile dairesel polarizasyon sağlayan bir mikroşerit anten elde edilebilmektedir [1]. Şekil (2.1)'de tasarlanan karesel yarık anten verilmiştir.



Şekil 2.1 : Karesel Yarık Anten

$$c = L/(2.72) = W/(2.72) \quad (2.1)$$

$$d = c/10 \quad (2.2)$$

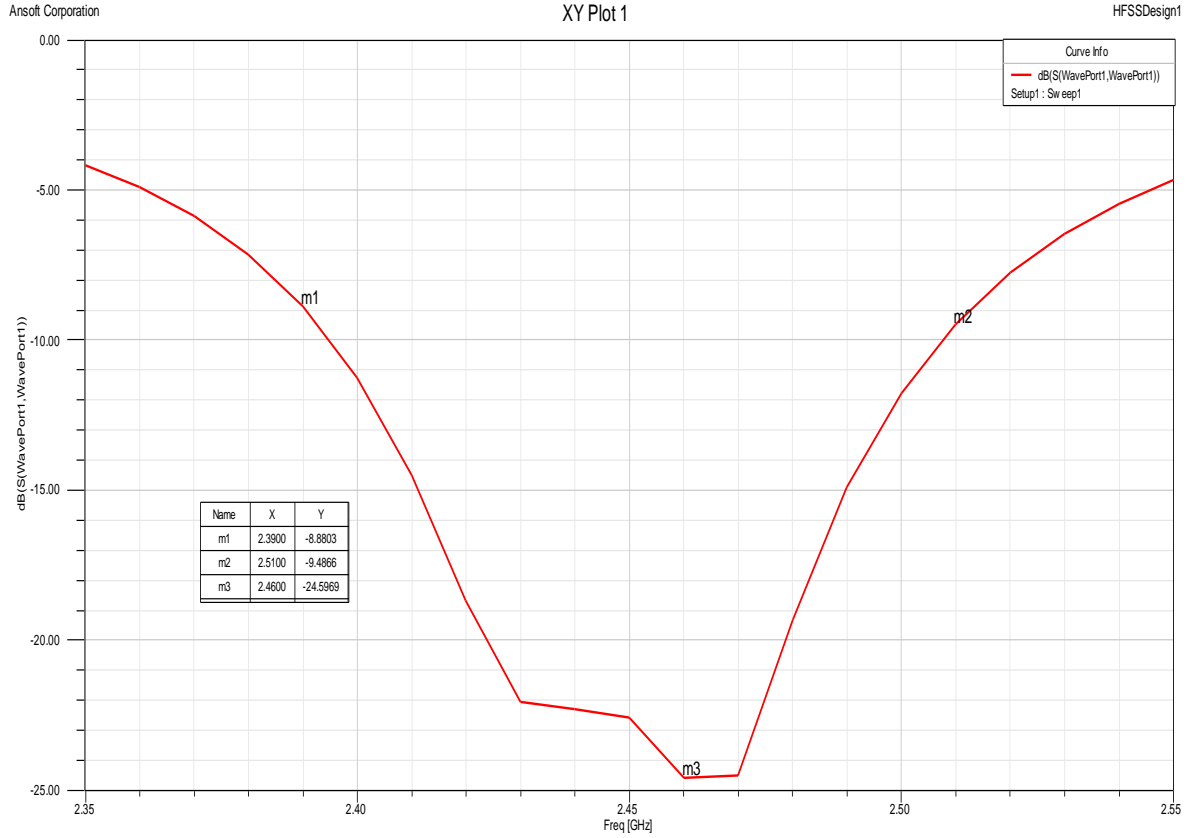
Formül (2.1) ve (2.2)'da verilen 'c' ve 'd' uzunlukları ile yarık boyutu yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir [1].

Verilen formüllerden yola çıkarak yapılan hesaplarda tablo (2.1)'deki değerler bulunmuştur.

FR-4 tabakasının kalınlığı	h= 1.6 mm
Dielektrik sabiti	$\epsilon_r = 4.4$
Temel yama boyutları	27.5 mm x 27.5 mm

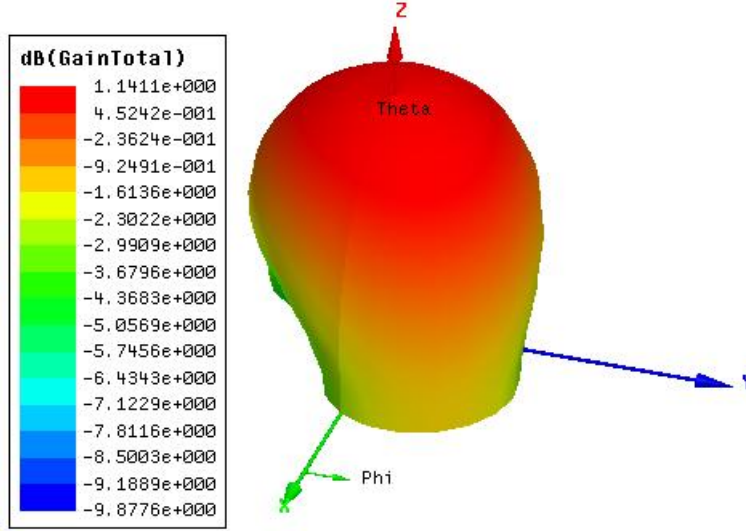
Tablo 2.1 : Hesaplanan Karesel Anten

Karesel anten boyutları hesaplandıktan sonra yarık uzunluklarının bulunması gerekmektedir. Yarık uzunlukları Formül (2.1) ve (2.2) ile hesaplandıktan sonra benzetim yazılımında beklenen değer için yaklaştırma yapılarak 'c=10.1 mm' ve 'd=1 mm' olarak bulunmuştur. Anten daha sonra yapılacak anten dizisine uyum sağlaması açısından '100 ohm' empedans değeri için tasarlanmıştır



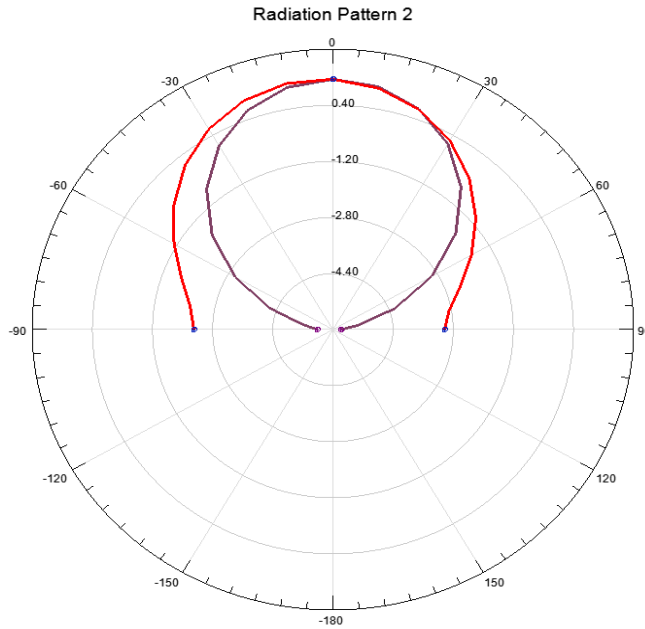
Şekil 2.2 : Karesel Yarık Anteninin s11 (Yansıma) Benzetimi

Bu karesel yarık antenin '2.39 - 2.51 GHz' arasında çalıştığı şekil (2.2)'de görülmektedir. Belirtilen bu aralık Wi-Fi (kablosuz iletişim) için kullanılmakta ve antenin çalışması için amaçladığımız olan aralıktır.



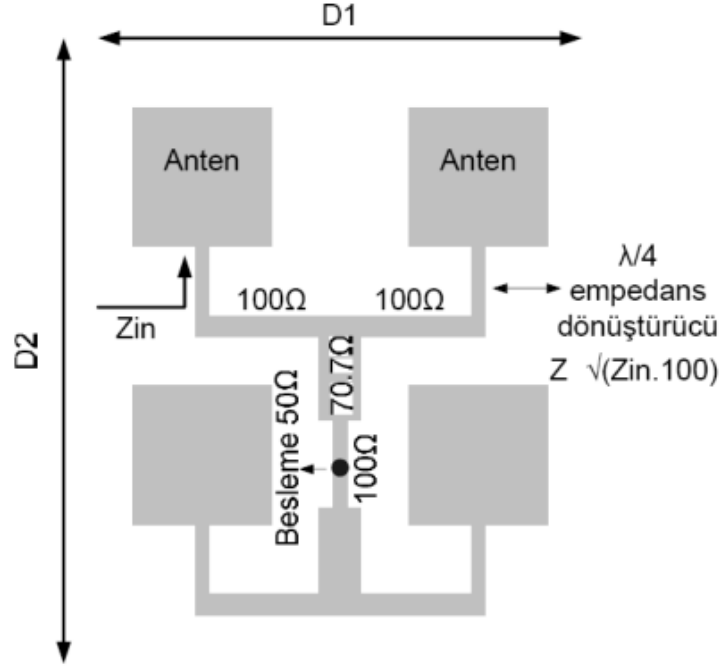
Şekil 2.3 : Karesel yarık anten kazancı

Tasarlanan mikroşerit antenler için sadece geri dönüş kaybını (s11) değerini bulmak yetmemektedir. İstenen bölgeye gönderilmek istenen işaretin doğru alınabilme başarısı alıcı ve verici antenin kazanç değerlerine büyük oranda bağlıdır. Şekil (2.3)'de karesel yarık antenin kazancı yaklaşık '1.2 dB' olduğu görülmektedir. Ayrıca antenin nasıl ışımaya yapacağını gösteren elektrik ve magnetik alan dağılımlarının da incelenmesi gerekmektedir. Elektrik ve magnetik alan yayılımı şekil (2.4)'de görülmektedir.



Şekil 2.4 : Uzak alan kutupsal çizim

Tasarlanan mikroşerit antenler boyutları ve maliyetleri açısından kullanıcıya kolaylık sağlasa da mikroşerit antenler yapısı gereği büyük band genişliklerine ve yüksek kazançlara sahip değildir [1]. Tasarımcının karşılaştığı bu eksiklikleri gidermek üzere iki veya daha çok antenin bulunduğu yapılar yani anten dizileri tasarlanır. Tekil olarak tasarlanan antenler, anten dizi yapısına yerleştirilirken empedans uyumları sağlanır ve gerekli geometri uydurulursa anten dizisi tekil antenler ile aynı frekansta ışınım yapar ve toplam kazanç artar.



Şekil 2.5 : Anten dizisi empedans uyumu

Empedans uyumu yapılmış anten dizisi şekil (2.5)'de verilmiştir. Tekil olarak tasarlanmış karesel yarık anten '100 ohm' için tasarlandığından dolayı, 100 ohm ile anten arasında ' $\lambda/4$ ' empedans dönüştürücüsüne ihtiyaç duyulmamaktadır. Anten dizisinin beslemesi 50 ohm olarak tasarlanmıştır, 100 ohm için tasarlanan besleme hattı ortasından beslenirse 50 ohm'luk davranış göstermektedir. 50 ohm ile 100 ohm arasındaki uyumu sağlayabilmek için iki empedans arasında bir empedans uydurucu koymak gerekir, $\sqrt{50 \text{ ohm} \times 100 \text{ ohm}} = 70.7 \text{ ohm}$ olduğundan dolayı empedans uydurucu olarak 70.7 ohm'luk hat iki empedans arasında yerleştirilir.

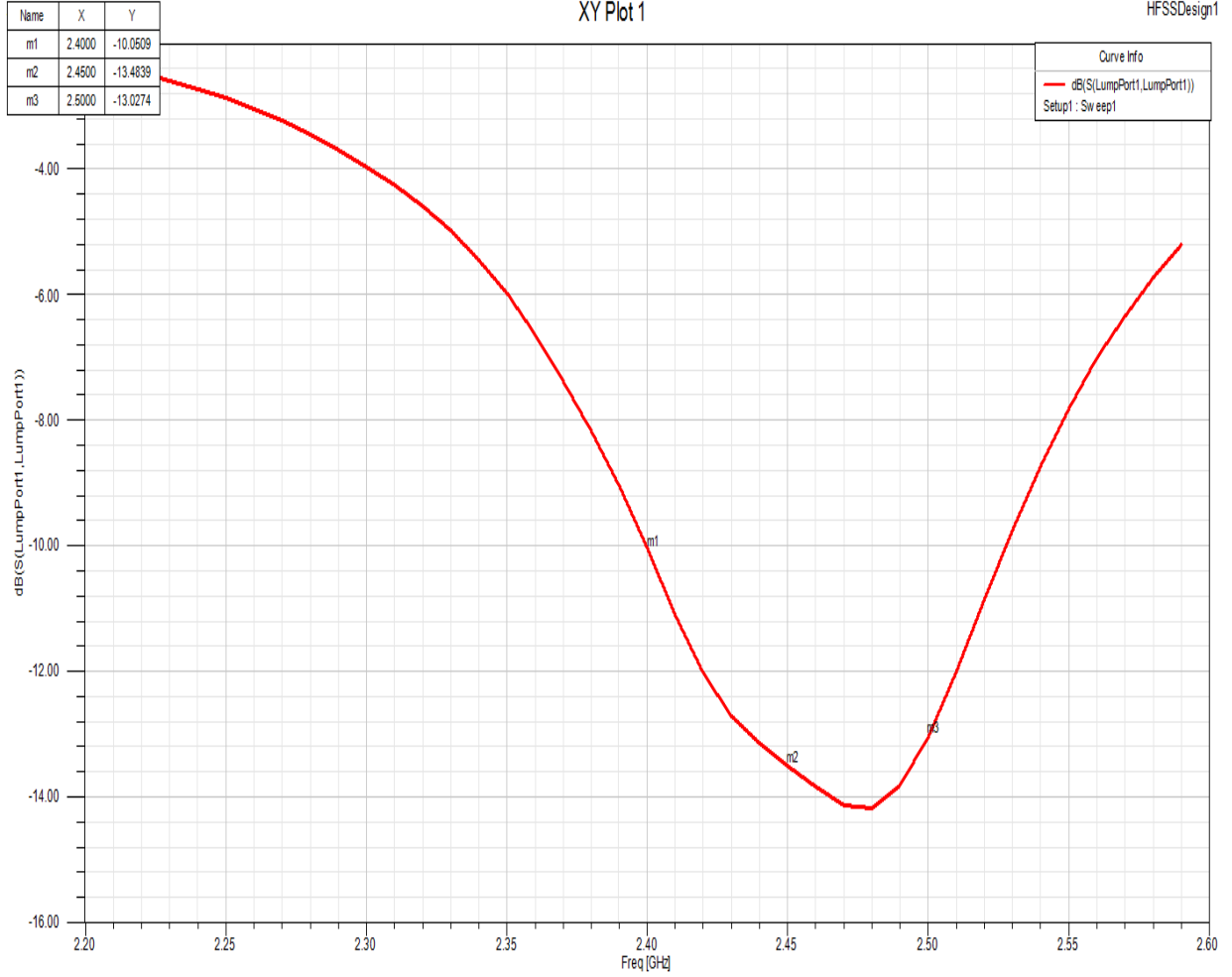
Anten dizisinin tasarlanmasının önemli bir nedeni olan yüksek kazanç ayarlanması için taban uzunlukları olan D_1 ve D_2 uzunluklarına uygun değerler verilmelidir.

$$G=10\log\left(\frac{4\pi A}{\lambda}\right) - \alpha(D_1 + D_2)/2 \quad (2.3)$$

$$A= D_1 \times D_2 \quad (2.4)$$

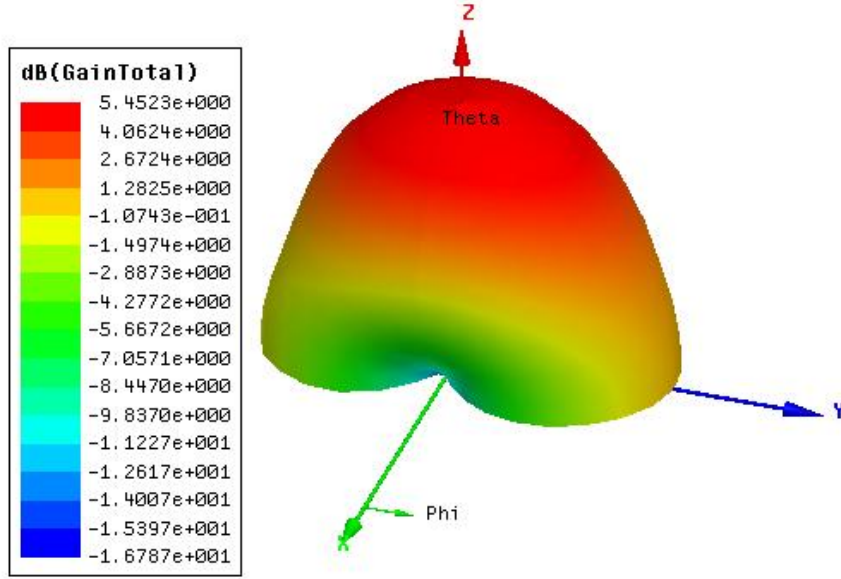
(2.3)'de verilen kazanç formülü ile taban uzunluklarının optimize ayarlanması ile kazancın arttırılabileceği görülebilmektedir [3]. Kazanç ifadesinde yer alan ' α ' sembolü zayıflamayı belirtmektedir. Zayıflama değeri iletimin yapılacağı frekans değeri, taban kalınlığı ,

besleme hattının empedans değeri ve uzunluk değeri ile değişmektedir, bundan dolayı taban boyutları ve taban yapısı değiştirilerek kazanç değeri değiştirilebilmektedir.



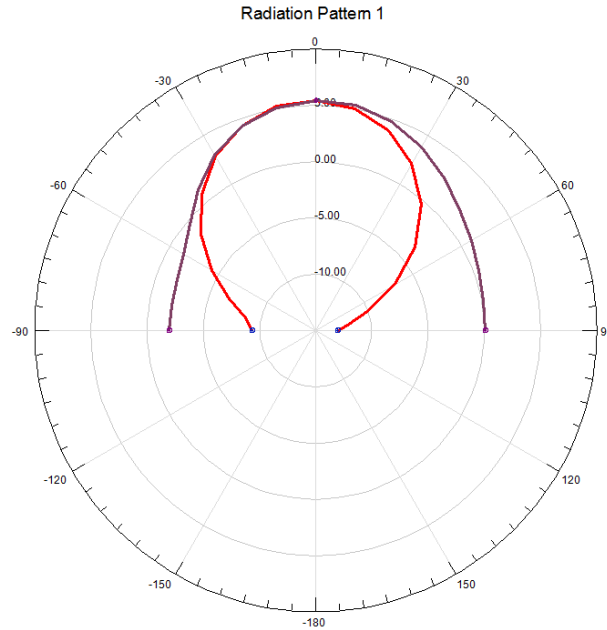
Şekil 2.6 : Anten dizisi s11 (geri dönüş kaybı)

Şekil (2.6)'da verilen geri dönüş kaybı grafiğinde görüldüğü gibi anten dizisi 2.39-2.53 GHz arasında çalışmaktadır ve istediğimiz aralık 2.4-2.5 GHz arasında çalışmaktadır.



Şekil 2.7 : Anten Dizi Kazancı

Şekil (2.7)'de verilen polar grafikte görüldüğü gibi kazanç yaklaşık olarak '5.5 dB' olmuştur ve tek olarak tasarlanan karesel yarıçap antenin yaklaşık kazancı olan '1.2 dB' değerinden büyük bir oranda arttığı görülmektedir.



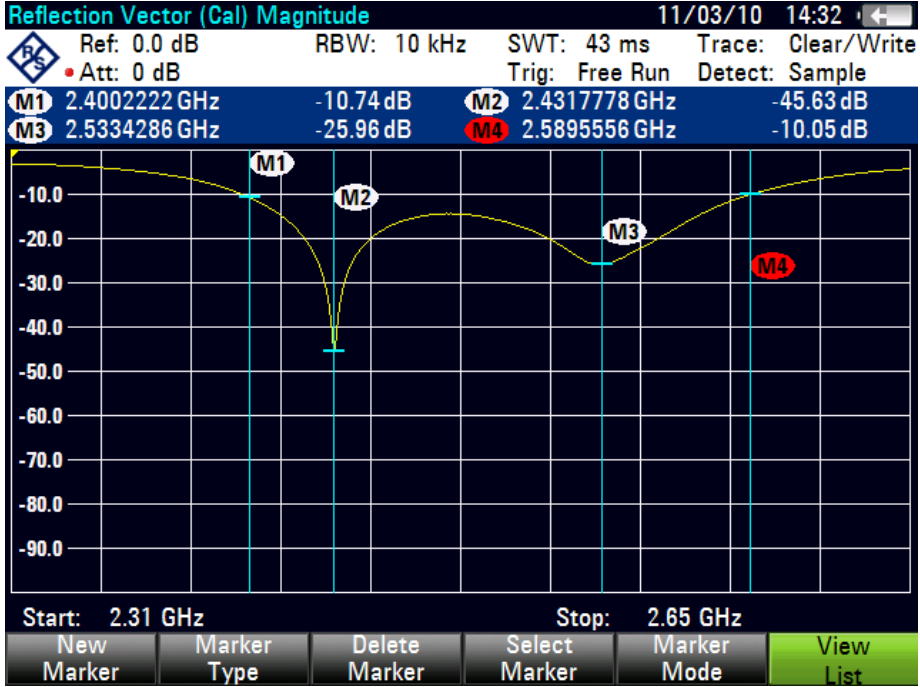
Şekil 2.8 : Anten Dizisi Uzak Alan Kutupsal Çizimi

Anten dizisinin elektrik alan ve magnetik alan çizimi şekil (2.8)'de verilmiştir. Antenlerin teorik hesapları ve benzetimleri yapıldıktan sonra istenen değerler elde edilmiş ise antenin yapımına ve yapılan antenlerin ölçümlerine geçilir.

Şekil (2.9)'da görülen ve benzetimi yapılan karesel yarık antenden oluşturulan mikroşerit dizi antenin gerçekleştirilmesi yapılmış ve yansımaya katsayı ölçümü yapılmıştır.



Şekil 2.9 : Anten Dizisi ve Yansımaya Katsayısı Ölçme Düzeni



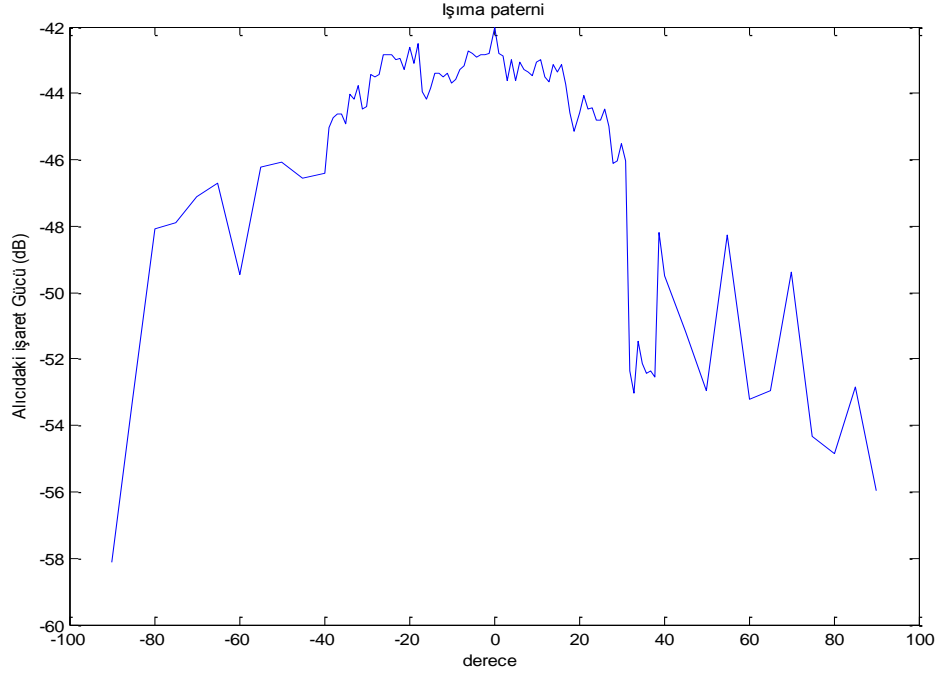
Şekil 2.10 : Anten Dizisi Yansımaya Katsayısı Ölçümü

Şekil (2.10)'da verilen yansıma katsayısı ölçümünde görüldüğü gibi anten dizisi '2.39 GHz' ve '2.58 GHz' arasında -10dB değeri altında yansıma katsayısı değeri almakta ve bu frekanslar arasında ışıma yapmaktadır. HFSS yazılımı ile yapılan benzetimde '2.39-2.53 GHz' değerleri arasında ışıma yaptığı görülmüştü, fakat gerçekleştirilen anten dizisinin benzetimine göre daha büyük bir band genişliğine sahiptir.

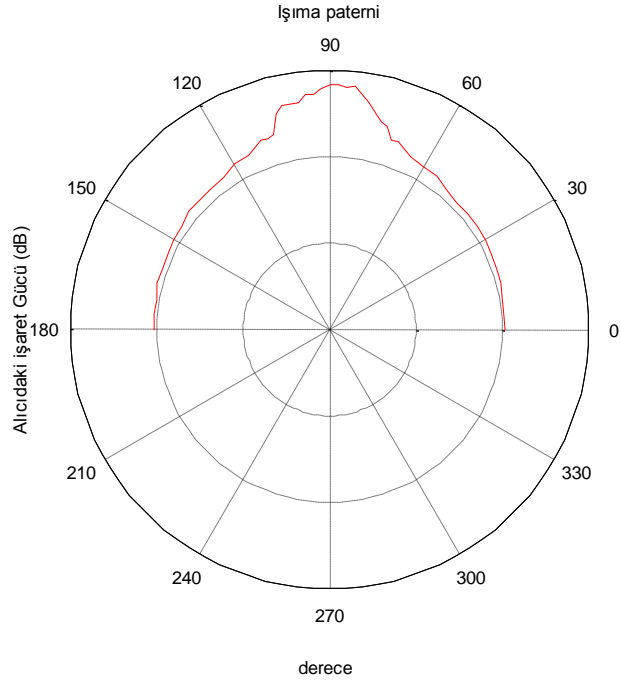


Şekil 2.11 : Kazanç Ölçüm Düzenegi

Şekil (2.11) ölçüm düzeneginde görüldüğü gibi yansıma katsayısının ölçülmesinden sonra kazanç ölçümüne geçilmiştir. Deney düzenegi ile ölçülen değerler açılara göre kayıt altına alınmıştır. Kayıtların grafiği MathWorks şirketinin Matlab yazılımı [4] ile oluşturulmuştur. Şekil (2.12)'de ölçülen işaret gücünün açılara göre değerleri görülmektedir. '-90' ve '+90' derece arasında alıcıdaki işaret gücü değerlerine bakıldığında '0' derecede yani antenin tam karşısında en yüksek değerle karşılaşılmaktadır. '1 metre' uzaklıkta gerçekleştirilen iki adet anten dizisi ile kazanç hesabı yapıldığında bir tane anten dizisinde görülen işaret gücü '-28 dB' olmaktadır. Link hesabı yapıldığında karşılaşılan kazanç değeri '6 dB' olmaktadır. HFSS yazılımı ile yapılan kazanç benzetiminde benzetim edilen değer '5.5 dB' çıkmıştı, yani gerçekleştirilen antenin kazanç değeri daha yüksek çıkmıştır. Şekil (2.13)'da polar çizimi verilmiştir.



Şekil 2.12 : Açılara Göre Alıcıdaki İşaret Gücü



Şekil 2.13 : Alıcıdaki İşaret Gücü Polar Çizim

Anten dizisinin '2.4 GHz' frekansına göre davranış değerlerine bakıldığında, güçlerin yarıya düştüğü açılar '27' ve '-30' olduğu görölmektedir, bu iki açı değeri arasındaki fark alındığında yarım güç demet genişliği '57' dereceye ulaşılmaktadır.

3. Anten İzleyici

Tasarladığımız yüksek kazançlı mikroşerit antenin dinamik ortamda insansız hava aracından sürekli veri alabilmesi için alış yönünü hava aracına çevirmesi gerekmektedir. Bu işi anten izleyiciler yüklenir.

Hava aracındaki video vericisi, kameradan aldığı sinyalleri 2.4Ghz bandına modüle ederek ortama yayar (şekil 3.1).



şekil 3.1 : Kamera ve Video Verici

Yer istasyonundaki mikroşerit anten ise 2.4Ghz bandındaki bu video sinyallerini video alıcısına iletir. Video alıcısında elde ettiği görüntüleri USB arabirimi çeviricisine gönderir ve kullanıcı yer istasyonu bilgisayarındaki yazılım aracılığıyla hava aracındaki görüntüyü sürekli olarak takip eder. (şekil 3.2).



Şekil 3.2 : Yer İstasyonu

Anten izleyicisi yönünü hava aracından gelen Telemetrik datalar içerisindeki anlık konum bilgisi ve yer istasyonunun konum bilgisinden yararlanarak saptar (Şekil 3.3). Bu iki konum bilgisi yer istasyonu bilgisayarında pan ve tilt açılarına dönüştürülür. Bu açılar Rs232 arabirimi üzerinden anten takipçisine gönderilir. Anten takipçisi bu açı bilgilerini ilgili servo kontrol sinyallerine göndererek mikroşerit antenin sürekli olarak hava aracına yönlenmesini sağlar (Şekil 3.4). Hava aracının koordinatları φ , λ , h ; Antenin bulunduğu koordinatlar p , m , l ; Koordinat düzlemindeki uzaklıklar x, y ; Kuş uçuşu uzaklık d ; olmak üzere anten izleyicinin açıları şu şekilde hesaplanır;

$$x = |\varphi - p| * 111 \quad (3.1)$$

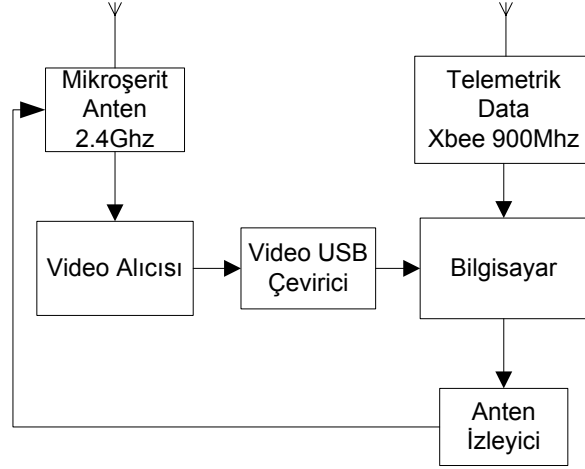
$$y = \cos(|\varphi - p| / 2 * \pi / 180) * 6378 * 2 * \pi / 360 * |\lambda - m| \quad (3.2)$$

$$d = 1000 * \sqrt{x^2 + y^2} \quad (3.3)$$

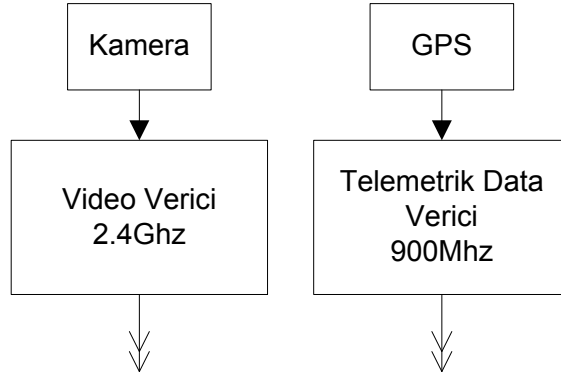
$$\text{Tilt} = \text{atan}((h - l) / d) * 180 / \pi \quad (3.4)$$

Kartezyen koordinatın 1. Bölgesi için Pan açısı ise;

$$\text{Pan} = \text{atan}((\lambda - m) / (\varphi - p)) * 180 / \pi \quad (3.5)$$



Şekil 3.3 : Hava Aracı Akış Şeması



Şekil 3.4 : Yer İstasyonu Akış Şeması

4. Sonuç

Bu çalışmada 2.4 GHz' de kablosuz iletişimde kullanılmak amacı ile karesel yarık mikroşerit anten ve bu antenden oluşturulan anten dizisi tasarlanmıştır. Oluşturulan dizi tasarımları ile daha yüksek kazançlı anten yapılarının tasarımı yapılabilir ve 2ⁿ şeklinde anten dizilerinin oluşturulabilmesi mümkündür. Mikroşerit antenler için taban türünün değişmesi ve uzunlukların değiştirilmesi gibi parametre değişiklikleri ile çalışma frekansı ve antenin toplam boyutu değiştirilebilir, böylelikle istenilen boyutlarda ve frekansta çalışan mikroşerit antenler elde edilebilir. Yarık antende uygulandığı gibi, karesel bir antenden belli uzunlukta ve 45° eksenli parça çıkarıldığında karesel anten dairesel polarize olmaktadır. Polarizasyon işlemi besleme ve elektromekanik işlemlerin yanında, yama anten üzerinde değişiklikler yapılarak da elde edilebildiği görülmektedir. İnsansız hava taşıtlarında kullanılan video işaretinin alıcı kanalında bulunan antenin kazancı dizi anten kullanarak mevcut çözümlere göre 2 kat artırılmıştır, böylece sistemin istenilen mesafede haberleşmesi sağlanmıştır.

Kaynaklar

- [1] **Balanis, C. B.**, 2005. Antenna Theory: Analysis and Design, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- [2] Ansoft Corp., <http://www.ansoft.com/products/hf/hfss/>
- [3] **A.Yıldırım, H.B.Yağcı, S. Paker**, “2.4 GHz’de Yüksek Kazançlı Mikroşerit Yama Anten Tasarım ve Gerçekleştirimi,”
http://www.emo.org.tr/ekler/f9f313a22b388dc_ek.pdf [4]
- The MathWorks, Inc., <http://www.mathworks.com/products/matlab/>