

## GPS L1 Bandında Karıştırıcı Bastırmak için 4 Elemanlı Aktif Anten Dizisi Tasarımı

Ömer Can DABAK<sup>1,2</sup>, Tolga SÖNMEZ<sup>1,2</sup>, Lale ALATAN<sup>2</sup>, S.Sencer Koç<sup>2</sup>

<sup>1</sup>HAVELSAN A.Ş., Ankara, Türkiye  
{odabak,tsonmez}@havelsan.com.tr

<sup>2</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye  
{e174073,lalatan,skoc}@metu.edu.tr

**Özet:** Küresel Konumlandırma Sistemi'ne yönelik karıştırıcılar, uydulardan gelen düşük güçteki sinyallerin üzerine yüksek güçte gürültü yayını ilave ederek konumlandırma sisteminin kabiliyetini ya kısmen zayıflatır, ya da tamamen devre dışı bırakır. Anten dizilerinin kullanımı, antenin kazanç diyagramında sıfır kazanç bölgeleri oluşturur ve bu sıfır kazanç bölgelerinin dizi sinyal işleme yöntemleri kullanılarak karıştırıcı sinyallerin geliş açılarına yönlendirilmesine olanak sağlar. Bu makale ile, Küresel Konumlandırma Sistemlerine yönelen karıştırıcı tehditlerin uzaysal filtreleme ile bastırılması amacı ile kullanılabilir 4 elemanlı aktif anten dizisi tasarım çalışmaları; teori, simülasyon, üretim ve ölçüm aşamaları ile incelenecektir.

**Abstract:** Global Positioning System (GPS) jammers add excessive noise to the received low power GPS signals and have capability to either weaken or completely destroy the positioning performance of GPS receivers. Usage of antenna array creates null regions in radiation pattern and make possible to steer these null regions toward jammer sources by array signal processing approaches. In this paper, design of four element active GPS antenna array is examined with subsections of theory, simulation, production and test stages.

### 1 Giriş

GPS, Dünya yüzeyinden 20000 km yükseklikte bulunan uyduların yayınları üzerinden hizmet veren bir navigasyon sistemidir. Navigasyon bilgisi ise en az dört uydudan gelen sinyallerin geliş zamanları kullanılarak çıkarılır. GPS uyduları ile dünya arasındaki mesafeden ötürü GPS sinyalleri alıcılara çok düşük güçlerde ulaştığından, istemli veya istemsiz karıştırıcılar pozisyonlama servisini ya kısmen zayıflatır ya da tamamen devre dışı bırakır. Karıştırıcı tehditlerine karşı tedbir olarak çok sistemli çok frekanslı alıcılar, çentik filtre uygulamaları ve anten dizisi destekli alıcı koruma sistemleri üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmaktadır [1]. Anten dizisi destekli alıcı koruma sistemleri, alınan sinyal üzerinde herhangi bir bilgi kaybına sebep olmadığından ve çoğu durumda diğer navigasyon sistemlerine geçiş ihtiyacı da bırakmadığından son dönemlerde popüler olarak üzerinde çalışılan bir konudur.

Normal GPS antenleri gökyüzünde olabildiğince fazla uydu alabilmek için yarı uzayda neredeyse yönsüz ışıma paternine sahiptir. Antenlerin bu özellikleri, GPS alıcılarını karıştırıcı sinyallere de açık hale getirmektedir. Anten dizilerinin kullanımı ile anten dizisi ışıma paterninde sıfır kazanç bölgeleri oluşturmak mümkün olmaktadır. Antenlerden alınan örneklere uygulanacak kompleks ağırlıklandırma çarpanları ile bu sıfır kazanç bölgelerinin karıştırıcılara bakması ile karıştırıcıların belli seviyelere kadar bastırılması mümkün olmaktadır.

Bu makale ile aktif GPS anten dizisi tasarım çalışmaları; dairesel polarizasyona sahip yaklaşık kare tasarımlı mikroşerit yama anten, 4 elemanlı dairesel anten dizisi ve 4 kanallı LNA kartı alt başlıkları ile incelenmektedir. Sonuç kısmı ile de yapılan çalışmalar özetlenmektedir.

### 2 DAİRESEL POLARİZASYONA SAHİP MİKROŞERİT YAMA ANTEN TASARIMI

GPS uyduları, sadece askeri alıcılara yönelik L2 bandında, hem askeri hem sivil alıcılara yönelik de L1 bandında yayın yapmaktadır. GPS L1 bandındaki yayının merkez frekansı 1575.42 MHz ve sivil C/A kodu için bant genişliği 2.046 MHz'dir. Uydulardan gelen GPS sinyalleri sağ el dairesel polarizasyona sahiptir. GPS alıcı anten tipi olarak mikroşerit yama anten, üretim kolaylıkları, düşük üretim maliyetleri ve sağladığı performans kriterleri ile sıklıkla tercih edilmektedir. Mikroşerit GPS anteni tasarımıımızda, empedans eşleme ve üretim kolaylığı getirdiği için

koaksiyel prob besleme metodunu tercih ettik. Dairesel polarizasyon elde etmek için yaklaşık kare tasarımı temel alınmıştır.

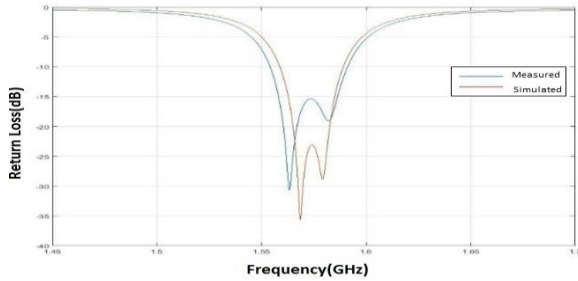
Yaklaşık kare mikroşerit anten tasarım aşamasında çalışılacak merkez frekans( $f_c$ ), yamanın genişliği( $W$ ), yamanın uzunluğu( $L$ ), dielektrik malzemenin yüksekliği( $h$ ), dielektrik sabit( $\epsilon_r$ ), ve antenin besleme noktası tasarım parametreleridir. İhtiyaç duyulan bant genişliğine göre dielektrik malzeme olarak 3.55 dielektrik sabitine sahip 1.524 mm kalınlığında olan RO4003 ürününü tercih ettik. Yaklaşık kare mikroşerit anten tasarımında uzunluk ile genişlik arasındaki ilişki [2]'te de bahsedildiği gibi kalite faktörüne ( $Q$ ) bağlı şekilde aşağıda verilen eşitlik (1) ile bulunur. Burada kullanılan  $Q$  faktörü ise kaynak [3] de yer aldığı ve eşitlik (2) ile paylaşıldığı gibi empedans bant genişliği ve VSWR(Voltage Standing Wave Ratio)'a bağlı olarak bulunur.

$$\frac{W}{L} = \frac{2 \times Q + 1}{2 \times Q - 1} \quad (1) \quad BW_{LP}^{IMP} = \frac{VSWR_{max} - 1}{\sqrt{VSWR_{max} \times Q}} \quad (2)$$

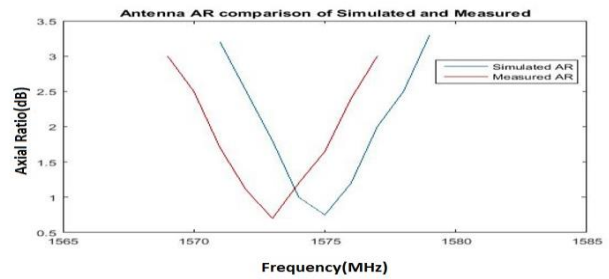
Bu formülde yer alan VSWR(Voltage Standing Wave Ratio) değeri, 10 dB'lik empedans bant genişliği için 2 alınır. Seçilen malzeme üzerinde üretilen antenin kalite faktörünü hesaplayabilmek için GPS L1 bandında çalışacak LP anteni tasarlayıp CST Microwave Studio [4] adlı elektromanyetik benzetim programı ile simüle ettik. Simülasyon sonuçlarına göre  $Q=77.23$  olarak hesaplandı ve  $W/L$  oranı 1.013 oldu. Uzunluk ve genişlik arasındaki ilişkiyi bulduktan sonra CST'nin 'parameter sweep' özelliğini kullanarak antenin uzunluk, genişlik ve besleme noktası parametrelerini optimize ettik.

## 2.1 Simülasyon, Üretim ve Ölçüm Sonuçları

Tasarladığımız anteni ürettirdikten sonra ilk olarak network analizör yardımı ile S11 parametreleri ölçümünü gerçekleştirdik. Buna göre antenin merkez frekansı 1587 MHz'de çıktı. Merkez frekandaki 12 MHz kaymadan dolayı düzeltme işlemine ihtiyaç duyduk. Daha önce simülasyon ortamında yaptığımız hassasiyet analizlerinden elde ettiğimiz bilgi ile antenin uzunluk ve genişliğini bakır bant ilave etmek suretiyle arttırarak merkez frekansda düzeltmeyi gerçekleştirdik. Ölçüleri düzeltilmiş olan antenin ölçülen S11 parametreleri ile dizayn edilen antenin S11 simülasyonlarının karşılaştırması Şekil 2-1 a'da yer almaktadır. Son olarak, antenin polarizasyon özelliklerinin anlaşılmasını sağlayacak eksen oranı (AR) ölçümlerinin simülasyon sonuçları ile karşılaştırması Şekil 2-1 b'de görülmektedir. Ölçüleri düzeltilmiş antenin özelliklerinin hedeflenen antene çok yakın olması sebebi ile anten dizisi üretiminde güncellenen ölçülerin kullanılmasına karar verilmiştir.



Şekil 2-1 a) S11 Parametreleri Karşılaştırması

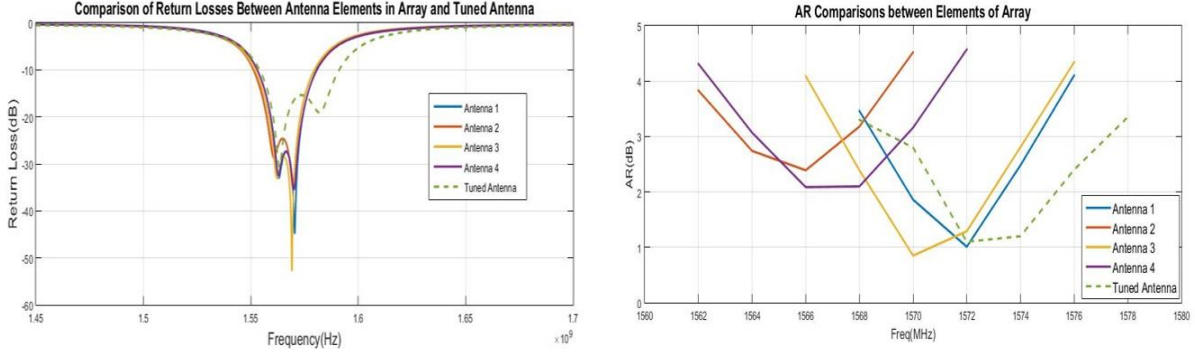


b) AR Karşılaştırması

## 3 4 ELEMANLI ANTEN DİZİSİ TASARIMI

Anten dizisinde kullanılacak olan elemanların boyutlarına, daha önce ölçüleri düzeltilmiş antenin ölçülerini baz alarak karar verdik. Yanca düzlemde sağladığı yüksek çözünürlükten dolayı dairesel yerleşimde karar kıldık. Anten dizisinin elemanlarını, birbirlerinin arasında dalga boyunun yarısı mesafe olacak şekilde yerleştirdik. Anten dizisinin simülasyonlarını CST MS programı gerçekleştirdik. Daha sonrasında ise RO4003 malzemesini kullanarak anten dizisinin üretimini gerçekleştirdik. Üretilen anten dizisinin elemanları ile önceki bölümde paylaştığımız ölçüleri düzeltilmiş antenlere ait S11 ve AR karşılaştırmaları Şekil 3-1 a ve b'de verilmiştir. Hem S11, hem de AR ölçümlerine bakarak anten dizisinin elemanlarını merkez frekanslarının, daha önce ölçüleri düzeltilmiş antenin merkez frekansına göre az da olsa düşmüş olduğu ölçümlerden görülmektedir. Bunun yanında AR ölçümlerine bakarak, anten dizisinde çarpaz yerleştirilmiş antenlerin birbirine benzer olduğunu ve 4 antenin aynı AR sonucunu vermediğini söylemek mümkündür. Anten dizisindeki elemanların ölçümlerinin daha önce referans alınan antene göre yukarıda bahsettiğimiz şekilde farklı olmasının sebebinin antenler arasında oluşan

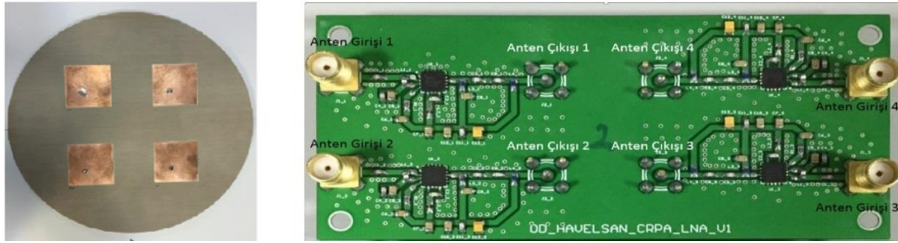
'Mutual Coupling' etkisi olduğunu düşünmekteyiz. Üretilen antenlerin band genişliğinin dar olması, farklı sebeplerden ötürü merkez frekansda az bir kayma olsa bile hedef merkez frekansda antenin istenen performansını azaltmaktadır. Dolayısı ile gelecek çalışmalarımızda, 'Mutual Coupling' ve benzeri etkilerle merkez frekans yakalanamasa bile hedef merkez frekansın antenin band genişliği içinde yer alması için daha geniş bantlı antenlerin dizaynı üzerinde çalışacağız.



Şekil 3-1 a) S11 Ölçümleri Karşılaştırması

b) AR ölçümleri Karşılaştırması

Aktif anten dizileri, antenler ve onları takip eden aktif yükselteçlerden oluşur. Genelde toplam gürültü faktörünü azaltmak için düşük güçlü yükselteçler(LNA) antenin hemen arkasına yerleştirilir. Biz bu çalışmamızda anten dizisi ile birlikte kompakt bir dizayn yapabilmek adına anten dizisinin hemen arkasına yerleştirilecek şekilde 4 kanallı bir LNA kartının tasarımını, üretimini ve testlerini gerçekleştirdik. 4 kanallı LNA kartının tasarımı sırasında Mini Circuits markasına ait PMA4-33GLN+ adlı LNA entegresini ve önerilen referans kart çizimini kullandık. Yapılan çalışmalar kapsamında tasarlanıp üretilen 4 elemanlı anten dizisi ile onun hemen arkasına yerleştirilecek 4 kanallı LNA kartımız Şekil 3-2'de görülmektedir. Yaptığımız testlere göre her bir LNA kanalı, GPS L1 bandında 30 dB kazanç ve yaklaşık 0.7 dB gürültü faktörüne sahiptir. LNA kartında bulunan 4 kanal da faz senkron olduğundan, GPS karıştırıcı bastırma çalışmalarımızda kullanıma uygun gördük.



Şekil 3-2 a) Anten Dizisi

b) 4 Kanallı LNA Kartı

## 4 SONUÇ

Anten dizisi tabanlı GPS karıştırıcı bastırma sistemlerinin önemli bir ayağı aktif anten dizisi tasarım kısmıdır. Geliştirdiğimiz anten dizisi, karıştırıcı bastırma amacıyla kullanacağımız algoritmaların testleri için yeterli olmakla birlikte gelecek çalışmalarımızda, antenin üretimi sırasında meydana gelecek hatalara daha toleranslı olabilmek adına antenlerin bant genişliklerini artırmayı, aynı zamanda yeni tasarlanacak olan anten dizileri ile karıştırmaya karşı dayanıklılığı GALILEO ve GLONASS gibi birden çok konumlandırma sistemine aynı anda kazandırmayı hedeflemekteyiz.

## 5 REFERANSLAR

- [1] P.F.MacDoran, "GNSS Interference and Attack Mitigation", Loctronix, *GPS World*, 2008
- [2] Y.T.Lo, R.Q.Lee, " Simple Design Formulas for Circularly Polarised Microstrip Antennas", *IEE Proceedings*, Vol.135,Pt.H,No.3,June 1988
- [3] W.L.Langston, D.R.Jackson, "Impedance, Axial-Ratio and Receive Power Bandwidths of Microstrip Antennas", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol.52, No.10, October 2004
- [4] Retrieved from <https://www.cst.com/products/cstmws>