

# NOVEL TECHNIQUES OF ARRAY ANTENNA DESIGN FOR SATELLITE COMMUNICATION

## SUMMARY

Antennas with high directivity or narrow beam width are preferred to be used in satellite communications to offer better reception performance in terms of reducing interferences from dense geo orbital sources. Sources of interference mostly are nearby satellites, other nearby earth stations or nearby microwave towers. Consequently, array antennas with high number of elements are developed over the past decades to obtain high directivity, narrow beam width and low side lobe level to minimize interference from these unwanted sources.

On the other hand, increasing number of the elements in the design of arrays causes to long microstrip lines in feed network leading to dielectric and ohmic losses. Also, the use of large number of power splitters leads to increasing insertion and isolation losses. The power-splitting network is also limiting the band width and enlarging the size. Therefore, optimization of feed network of large arrays has been investigated extensively. Moreover, miniaturizing the dimensions of antenna used in both satellite or ground station have been subject of developed studies. Consequently, main goal of this thesis is to determine methods for array antenna design with higher directivity, low side lobe level, effective feed network and smaller dimensions.

Radiation characteristics of an array depends on the radiation pattern of the element antenna and the geometrical configuration along with relative displacement and excitation of the overall array described by the array factor. Most of the available design techniques are accomplished by optimizing the array factor, neglecting abilities of the element antennas. In Chapter 4 of this thesis, three novel approaches of array design are proposed by using different combinations of special element antennas. In comparison with existing design procedures, the novel proposed methods are based on effective uses of both array factor and element factor with respect to each other. Consequently, array antennas with small aperture, effective feeding or narrow beam width are designed by using three distinct novel methods. Accuracy of all the approaches are confirmed based on theoretical studies and calculations. However, validity of the techniques are also demonstrated with simulations or measurement of prototype antenna(only for section 4.2). All the designs and simulations are accomplished in the range between 10.7GHz and 12.7 GHz which is allocated as satellite downlink for KU band.

In section 4.1 of this thesis, a novel method is proposed to design array antenna with desirable directivity but smaller aperture compared to the method used in available designs. The design approach is well-demonstrated in two-element array structure. In an array with two elements, although reducing the element spacing from  $\lambda$  to  $\lambda/2$  causes to a wide beam, but the resulting beam has no side lobes. Consequently, a special element antenna having a beam with a more narrow main lobe and probable side lobes at any other directions can be used to achieve a beam with single narrow lobe. Then, this approach can be developed to design arrays with large number of elements with small element spacing. Accuracy of the method is demonstrated and studied by using Ansoft HFSS software simulations.

The second novel approach (section 4.2) proposes a method to design a low loss array antenna. It is demonstrated that the same beam width can be achieved by using  $2\lambda$

element spacing with half the number of elements compared to the design with conventional limit of  $\lambda$  element spacing. Consequently, reducing the number of elements in microstrip arrays leads to lowering the loss made by long feed lines and insertion or isolation loss made by the power splitters. Also, using larger element spacing lowers the coupling between adjacent elements. However, the method needs a directive element antenna to cancel additional lobes. An element antenna with a very directive beam is simulated and fabricated. Then, a prototype array antenna is also simulated and fabricated based on the method with  $2\lambda$  spacing of that element antenna.

Results of section 4.2 confirms that beam width of an array is determined by aperture length of the array; more clearly by the elements placed towards the ends of the array. Subsequent results confirms that those additional interior elements are mostly effective in cancelling minor lobes, while having negligible effect on the beam width. Therefore, placement of the interior elements towards the ends of the array is aimed to improve the beam width, while this method distorts the side lobes. This is considered as a favorite achievement given that in some cases such as satellite applications the beam width of main lobe is more required than the side lobe level. Consequently, a novel nonlinear array design is presented in section 4.3 to achieve a narrower beam width with acceptable side lobe level compared to linear array.

Chapter 5 of this thesis presents the forth study on array antennas advantageous for the satellite communication applications. Although, the methods in Chapter 4 confirm the good results in terms of small dimensions, efficiency and beam width. However, quality of a directive antenna in suppressing the interferences is described by its side lobe level. Regarding that the most favorite approach for this aim is the Binomial array, study of Binomial arrays is presented in Chapter 5.

Binomial arrays, favorably show low side lobe level due to smooth amplitude distribution from the center element toward those at the edges. As the other advantage, binomial arrays with the element spacing equal or less than  $\lambda/2$  have no minor lobes. However, unfortunately, there are no compact expressions for the array factor and directivity for binomial arrays with no restriction in element spacing, except for  $\lambda/2$  spacing. In chapter 5, a novel procedure is proposed to derive compact expressions for the array factor and directivity of binomial arrays. The properties of Pascal's triangle, upon which the excitation coefficients of the binomial array are based and distributed, are used to obtain the compact expressions. It is demonstrated that the excitation coefficients of an N-element binomial array can be expressed as an (N-2)th convolution of the two-element binomial array. Then, the array factor and directivity of the entire binomial array is obtained using the properties of Fourier transform.

## UYDU HABERLEŞMESİ İÇİN YENİ DİZİ ANTEN TASARIM YÖNTEMLERİ

### ÖZET

Sıkışık geo orbital kaynaklardan gelen girişimlerin azaltılması açısından daha iyi alım performansı sunmak için yüksek yönlendiricili veya dar demete sahip antenlerin kullanılması uydu haberleşmesinde tercih edilir. Girişim kaynakları genelde yakın uydular, yakın diğer yer istasyonları veya yakındaki mikrodalga kuleleri olabilirler. Sonuç olarak, bu istenmeyen kaynaklardan gelen bozucu girişimleri en az seviyeye indirmek amacı ile yüksek yönlendiricilik, dar demet ve düşük yan lob seviyesi elde etmek için son on yıllar boyunca yüksek sayıda eleman içeren dizi anten çözümleri geliştirilmiştir.

Ancak, çok tercih edilen mikroşerit antenlerde, uzun mikro şerit hatların kullanımı, çok sayıda eleman içeren dizilerin tasarımında neredeyse imkansız kılmaktadır. Öte yandan, güç paylaşım devrelerindeki çok sayıda güç ayırıcının kullanılması izolasyon kaybının artmasına, bant genişliğinin sınırlandırılmasına ve boyutun büyümesine neden olmaktadır. Bu nedenle, besleme devresinin iyileştirilmesi, kısaltılmış şerit hatlarına sahip olmak için veya güç bölücülerin sayısını düşürmek için yeni bir çözüme ihtiyaç duyulmaktadır. Seri beslenen ağ sistemi, tüm tasarımlarda ideal bir yöntem olmamasına rağmen, güç ayırıcıların sayısını ve iletim hatlarının uzunluğunu azaltmak için önerilen yöntemlerden biridir. Diğer yöntemler arasında, maliyet etkin olmayan, aynı zamanda dizi antenin boyutunda genişlemeye yol açan ama besleme ağı kaybını azaltan kılavuzlarının kullanımı da bulunmaktadır. Tabana entegre olmuş dalga kılavuz yaklaşımı, aynı zamanda küçük boyutlara sahipken, kayıpları azaltmada etkili bir yöntem olarak önerilmektedir. Ama, yine de uygun maliyetli bir yöntem değildir. Dar demetli yönlü antenlerin yanı sıra, girişimlerin üstesinden gelmek için sadece yan lob seviyesini optimize eden tekniklerde önerilmiştir. Bazı tasarımlarda yan lob seviyesini azaltmak için, elemanlar arası eşit olmayan aralık kullanımı önerilmektedir. Simetrik dairesel anten dizisi (CCAA) ve eşit aralıklı olmayan küresel diziler de, yan lob seviyesi küçültülmektedir. Optimize edilmiş dizi tanımlamak için ayrı incelemelerde yapılmaktadır. Genetik Algoritmalar (GA) gibi algoritmalarda, yan lob seviyesinin bastırmasına yol açan etkili yöntemler olarak önerilmiştir. Ancak, bu tasarımlardan bazıları yan lob seviyesinde sınırlı bir iyileştirmeye neden olabilmektedirler. Buna ek olarak, bazı yöntemler, istenilen yan lob seviyesini sınırlı sayıda elemanlı diziler için önerilmiştir. Gerçek Kodlamalı Genetik Algoritma (RCGA) kullanan diğer yöntemler ise, standart diziden daha büyük bir dizi boyutuyla sonuçlanmakta ve bu da dezavantaj olarak değerlendirilmektedir.

Antenin boyutları da fazla sayıda araştırmaların ve çalışmaların konusu olmuştur. Şekillenmiş mikro şerit yapılı (DMS) veya şekillenmiş toprak yapılı (DGS) yöntemlerin kullanılması önerilmiştir. Ancak, bu tasarımlar verimliliğin düşmesine neden olmaktadır. E-şekilli bir DGS dizi anten, boyutları küçülmüş, ancak optimum verimliliğe sahip olması için önerilmektedir. Buna rağmen yüksek sayıda olan dizilerde arzu edilen bir yöntem olmamaktadır. Diğer tekniklerden bir örnek olarak, uydu uygulamaları için yapay manyetik malzemeler kullanarak minyatür dizi anten çözümleri önerilmektedir. Fakat maliyet açısından etkili bir yöntem değildirler.

Sonuç olarak, bu tezin ana amacı, daha pratik ve az maliyetli yüksek yöneltilirlik, düşük yan lob seviyesi, etkili besleme ağı ve daha küçük boyutlara sahip olan yeni dizi anten tasarım yöntemlerini belirlemektir. Bir dizinin ışıma karakteristikleri, eleman

anteninin ışınım modeline ve dizilim faktörü olarak tanımlanmış olan dizi geometri konfigürasyonu, toplam dizinin nispi yer değişimi ve beslenme devresine bağlıdır. Mevcut tasarım tekniklerinin çoğu, eleman antenlerin kabiliyetini ihmal edip dizi faktörünü optimize ederek gerçekleştirilir. Bu tezin 4. bölümünde, özel eleman antenlerinin farklı kombinasyonları kullanılarak dizi tasarımında üç yeni yaklaşım önerilmiştir. Mevcut tasarım yöntemleri ile karşılaştırıldığında, yeni önerilen yöntemler, hem dizi faktörünün hem de eleman faktörünün ikisinin de birbirine göre etkin kullanımlarına dayanmaktadır. Sonuç olarak, küçük açıklıklı, az kayıplı besleme veya dar demetli dizi antenleri üç farklı yeni yöntem kullanılarak tasarlanmıştır. Bu nedenle, dalga kılavuzu beslemeli diziler gibi diğer tasarımlarla karşılaştırıldığında, önerilen teknikler, imalat maliyetleri ve tasarım basitliği açısından daha pratik bir sonuç vereceği görülmüştür.

Üç farklı önerilen yaklaşım ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bütün yaklaşımların doğruluğu teorik hesaplamalara dayanarak teyit edilmiştir. Teorik çalışmaların yanı sıra, Ansoft HFSS simülasyonları kullanılarak birinci yaklaşımın (bölüm 4.1) ve üçüncü yaklaşımın (bölüm 4.3) sonuçları gösterilmiştir. Bununla birlikte, Bölüm 4.2'de sunulan yöntemle dayanarak bir anten dizisi üretilmiştir. Tezin 5. bölümünde Binom dizilerinin yönlendiricilik parametresini hesaplamak için bir yeni yöntem gösterilmektedir. Önerilen yöntemlerin bir özeti basitçe açıklanmaktadır.

Ku bant uydu teknolojisi, iletişim dünyasında kritik bir rol oynamaktadır. İnternet erişimi ve TV yayıncılığı gibi farklı uygulamalar Ku bant kullanan hizmetlerin örneğidir. Bu tezde önerilen prototip antenler Ku band frekanslarının aşağı bağlantı aralığında kullanılmak üzere doğrusal polarizasyonlu alıcı olarak tasarlanmıştır. Bu araştırmada, Ku band uydu iletişim sistemleri için aşağı bağlantı olarak tahsis edilen 10.7 GHz ila 12.7 GHz (10-18 GHz arasında) aralığı, dikkate alınmıştır.

Bu tezin 4.1 bölümünde, istenilen yönelticilik özelliğine sahip olan ama mevcut tasarımlarda kullanılan yöntemle karşılaştırıldığında, daha küçük açıklık ile dizili anten tasarlamak için yeni bir yöntem önerilmiştir. Bu tasarım yaklaşımı, iki elemanlı dizi yapısında etkin bir şekilde gösterilmiştir. İki elemanlı bir dizide eleman aralığını  $\lambda$ 'dan  $\lambda/2$ 'ye indirmek geniş bir demet açısına neden olurken, ancak ortaya çıkan demetin yan lobları yoktur. Sonuç olarak, tek dar loblu bir demet elde etmek için, daha dar bir ana lob ve herhangi bir başka yönde muhtemel yan lobları olan bir demete sahip olan özel bir eleman anten kullanılabilir. Ardından, bu yaklaşım, küçük eleman aralığıyla çok sayıda eleman içeren dizileri tasarlamak için geliştirilebilir. Yöntemin doğruluğu, Ansoft HFSS yazılım simülasyonları kullanılarak gösterilip ve incelenmiştir.

İkinci yeni yaklaşım (bölüm 4.2), düşük kayıplı bir dizi anten tasarlamak için bir yöntem önermektedir. Aynı demet açısı, geleneksel  $\lambda$  eleman aralığı sınırı ile tasarıma kıyasla eleman sayısının yarısı ile  $2\lambda$  eleman aralığı kullanılarak elde edilebileceği gösterilmiştir. Sonuç olarak, mikro şerit dizilerindeki eleman sayısının azaltılması, uzun besleme hatları tarafından yapılan kayıpların ve güç bölücülerin izolasyon kaybının azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca, daha büyük eleman aralığı kullanılarak komşu elemanlar arasındaki kuplaj etkisi de azalmaktadır. Ancak, yöntemin yarattığı ek lobları kaldırmak için bir yüksek yönlendiricili eleman anteninin kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. İstenilen yüksek yönlendiricili eleman anten için çözüm önerilerek benzetimi yapılmış ve baskı devre ile elde edilen prototip ölçülerek tasarım ile karşılaştırılmıştır. Ardından,  $2\lambda$  eleman aralığına sahip olan ve bu yöntemle dayanılarak bir prototip dizi anteni simüle edilip ve bastırılmıştır.

Bölüm 4.2'deki sonuçlar, bir dizinin demet açısının dizinin açıklık uzunluğu tarafından belirlendiğini teyit etmektedir; dizi demet genişliği daha net bir şekilde dizinin uçlarına doğru yerleştirilen elemanlarla belirlenmektedir. Sonraki sonuçlar, bu ek iç elemanlar, yan lobların kaldırılması için çoğunlukla etkili olduğunu ve demet açısında ihmal edilebilir bir etkiye sahip olduğunu doğrulamaktadır. Bu nedenle, iç elemanların dizinin uçlarına doğru yerleştirilmesi, demet açısı iyileştirmeyi amaçlarken bu yöntem yan lobları deforme olmasına yol açmaktadır. Uydu haberleşmesi uygulamaları gibi bazı durumlarda ana lobun demet açısı yan lob seviyesinden daha fazla etkili bir parametre olması nedeniyle, bu yöntem en istenilen çözümü oluşturan yeni bir yaklaşım yöntemi oluşturacaktır. Sonuç olarak, doğrusal diziyi karşılaştırıldığında kabul edilebilir yan lob seviyesi ile daha dar bir demet açısı elde etmek için bölüm 4.3'te yeni bir doğrusal olmayan dizi tasarımı sunulmuştur.

Bu tezin 5. bölümünde, uydu iletişimi uygulamaları için avantajlı olan dizi antenleri üzerinde yapılan 4. çalışma sunulmaktadır. Bununla birlikte, Bölüm 4'teki yöntemler küçük boyutlar, verimlilik ve demet açısı açısından iyi sonuçları teyit etmektedir. Ancak, yüksek yönelticilikli bir antenin girişimi bastırma kalitesi yan lob seviyesi ile tanımlanmaktadır. Bu amaca yönelik en uygun yaklaşım Binom dizisi olduğu için Binom dizilerinin incelenmesi Bölüm 5'te sunulmuştur.

Binom dizileri, merkez elemandan kenarlardaki elemanlarına kadar düzgün azalan genlik dağılımına bağlı olarak olumlu şekilde düşük yan lob seviyesini elde edebileceğini göstermektedir. Diğer avantaj olarak, eleman aralığı  $\lambda/2$ 'ye eşit veya daha küçük olan binom dizileri yan loblara sahip değildirler. Ancak,  $\lambda/2$  aralığı haricinde, eleman aralığında herhangi bir kısıtlama olmaksızın, binom dizileri için dizi faktörü ve yönlendiricilik parametresi için kompakt ifadeler mevcut değildir. Bölüm 5'te, binom dizilerinin dizilim faktörü ve yönlendiricilik parametresi için kompakt ifadeler türetmek için yeni bir yöntem önerilmiştir. Binom dizisinin besleme katsayılarının dayandığı ve dağılmış olduğunu gösteren Pascal üçgeninin özellikleri kompakt ifadeleri elde etmek için kullanılmıştır. Bir N elemanlı binom dizisinin besleme katsayılarının, iki elemanlı binom dizisinin bir (N-2) konvolüsyonu olarak ifade edilebileceği gösterilmiştir. Daha sonra, binom dizisinin tümünün dizi faktörü ve yönlendiricilik parametresi, Fourier dönüşümü özelliklerini kullanarak elde edilmiştir.