

# KABLOSUZ İLETİŞİMDE AKILLI ANTEN SİSTEMLERİ VE IŞIN ŞEKİLLENDİRME TEKNİKLERİ

**Erkan VURAL**  
erkanvural2000@yahoo.co.uk

**Hasan DİNÇER**  
hdincer@kou.edu.tr

*Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Anabilim Dalı  
Kocaeli/İzmit*

*Anahtar sözcükler: Akıllı anten sistemi, ışın şekillendirme, uzamsal süzgeçleme*

## ABSTRACT

*In this paper, smart antenna systems, beamforming techniques and the concept of the spatial filtering are studied. As an exemplary application, a computer simulation of steering antenna pattern to a desired direction for a given direction of arrival is presented.*

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Kablosuz servislerin kullanımındaki talep son yıllarda önemli derecede artmıştır ve giderek de artmaktadır. Artan talebi karşılamak iyi bir servis kalitesi ve yüksek bant genişliği gerektirmektedir. Gezgin haberleşme kullanıcılarının sayısının giderek artmasıyla birlikte kapasite daha önemli hale gelmektedir. Son zamanlarda geliştirilen akıllı anten teknolojisi, gelecek nesil kablosuz ağların gereksinimlerini karşılayacak çözüm olarak düşünülmektedir [1]. Akıllı anten veya uyarlamalı dizilim, sistemin alınan işaretleri sadece zaman ve frekans domenini kullanarak değil aynı zamanda en uygun sistem hedeflerini başarmak için uzamsal domeni de kullanabilmesini sağlar.

Bir akıllı anten sistemi; ilk olarak, çoklu yol zayıflamasını büyük oranda azaltabilmektedir. Güvenirlik ve servis kalitesi çoğunlukla zayıflama oranına bağlı olduğu için zayıflamadaki herhangi bir azalma performansı büyük miktarda iyileştirmektedir. İkinci bir avantaj, temel istasyonda akıllı antenin yer aldığı herhangi bir gezgin sistem daha iyi güç verimliliğine sahiptir. Bir diğer avantaj ise, işaret etkileşim oranının (SIR) artırılmasıyla sistem kapasitesinin artırılmasıdır [2].

Akıllı anten sisteminin yukarıda bahsedilen avantajları sağlamada kullandığı tekniklerden birisi ışın şekillendirme (beamforming) işlemidir, ve tasarlanan yapı ışın şekillendiricisi olarak isimlendirilir. Işın şekillendiricisi uzamsal süzgeçleme yapabilen bir sensör dizisidir.

## BÖLÜM 2. AKILLI ANTEN MİMARİSİ-NE GENEL BİR BAKIŞ

Uyarlamalı anten sisteminin çalışmasını kulağımızın sesin geldiği doğrultuyu belirleyebilme yeteneğiyle açıklayabiliriz. Şöyleki, bize sesli olarak yaklaşan birisinin, kendisini göremesek bile, geldiği yönü belirleyebiliyoruz. [3] Burada,

-Kulaklarımızla gelen sesleri duyarız.  
-Ses her kulağımıza farklı zamanlarda ulaşır.  
-Beynimiz, özel bir işaret işlemcisi gibi çalışarak, konuşmacının yerini hesaplamak ve bilgiyi ilişkilendirmek için çok fazla sayıda hesaplama yapar.

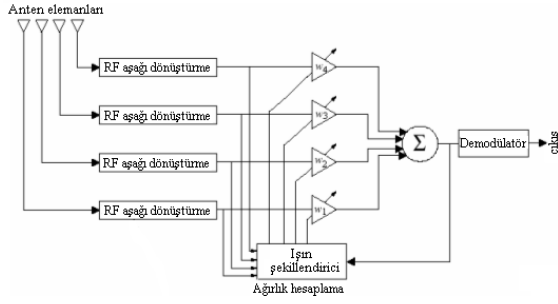
Ayrıca, beynimiz her bir kulağımıza birlikte gelen işaretlerin güçlerini toplar ve bu nedenle sesi seçilmiş bir doğrultuda alırız.

Uyarlamalı anten sistemleri de kulakların yerine antenleri kullanarak aynı işlevi görür.

### 2.1 GENEL AKILLI ANTEN MİMARİSİ

Bir akıllı anten sistemi gezgin radyo kanalının uzamsal boyutunu kullanabilmek için gelen işaretleri dinamik bir şekilde işleyen  $M$  anten elemanını içerir. En basit durumda, farklı anten elemanlarından alınan işaretler karmaşık ağırlıklarla çarpılıp sonrasında bu terimler toplanmaktadır. Burada ağırlıklar dinamik olarak hesaplanmaktadır. Esasen antenin kendisi değil, işaret işlemeyi içeren anten sisteminin bütünü uyarlamalı veya akıllıdır. Anten diziliminin bütün  $M$  elementleri varolan kanal ve kullanıcı karakteristiklerine uyum sağlayabilmek için birleştirilmektedir.

Şekil 1'de genelleştirilmiş akıllı anten mimarisini gösterilmektedir.



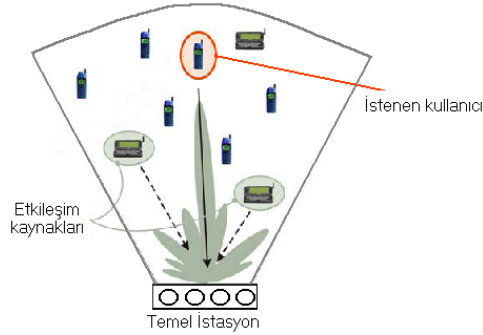
Şekil 1 : Genel akıllı anten mimarisi.

## 2.2 AKILLI ANTEN SİSTEMLERİ

Gerçekte, antenler değil akıllı anten sisteminin bütünü akıllıdır. Genel olarak, baz istasyonuna yerleştirilmiş bir akıllı anten sistemi, gelen işaretleri uyarlamalı, uzamsal duyarlı halde almak ve iletmek için sayısal işaret işleme kapasitesiyle bir anten dizilimini içerir. Diğer bir deyişle, işaretin geldiği konuma göre yayınım örüntüsünün doğrultusunu otomatik olarak değiştirebilen bir sistemdir. Bu, özellikle, kablosuz sistemin kapasite gibi performans karakteristiklerini hissedilir bir şekilde arttırabilmektedir.

Ağırlıkların dinamik olarak güncellenmesi akıllı anten sisteminin en önemli bölümüdür ve bu nedenle uyarlamalı antenler olarak da isimlendirilmektedirler.

Şekil 2'de örnek bir akıllı anten yapısı gösterilmektedir.

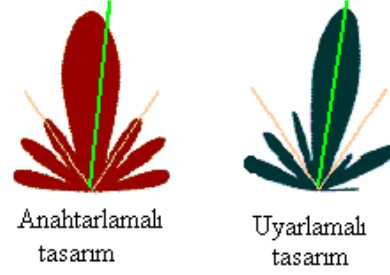


Şekil 2: Çoklu servis UMTS servisinde akıllı anten örüntüsü [4].

Akıllı anten sistemi teknolojisinin kabul edilen değişik görüşlerinin bugün yaygınlıkla duyduğumuz terimleri, akıllı antenler, fazlı dizi, SDMA, uzamsal işleme, sayısal ışın şekillendirme, uyarlamalı anten sistemleri ve diğerlerini kapsamaktadır. Akıllı anten sistemleri ticari olarak, anahtarlamalı ışın ve uyarlamalı dizilim sistemi şeklinde sınıflandırılmaktadır. Aşağıda, iletişim stratejisindeki seçimlerle ilgili olarak akıllı antenlerin bu iki kategorisi arasındaki farklılıkları verilmektedir.

-Anahtarlamalı Işın (Switched Beam): Sınırlı sayıda önceden tanımlanmış sabit örüntü veya stratejiyi birleştirme.

-Uyarlamalı dizilim (Adaptive Array): Gerçek zamanlı ayarlanabilen sınırsız sayıda örüntü.



Şekil 3: Anahtarlamalı yönlü ve uyarlamalı dizilim sistemleri [3].

Hem anahtarlamalı hem de uyarlamalı anten dizilimleri kullanıcının yerine göre kazancı artırma çabasıdadır, fakat sadece uyarlamalı sistem eşzamanlı tanımlama yapar, iz sürer ve etkileşim işaretlerini en aza indirgeyerek en uygun kazancı sağlar.

## BÖLÜM 3. ANTEN DİZİLİMLERİ VE IŞIN ŞEKİLLENDİRME

Gezgin radyo alımını zorlaştıran temel iki faktör çoklu-yol zayıflaması ve komşu kanal etkileşimlerinin varlığıdır. Akıllı antenlerin kullanımı bu etkileşimli çevrelerde performansı arttırabilmektedir. Akıllı antenler genel olarak iki kategori şeklinde sınıflandırılmaktadır, bunlar faz dizilimleri ve çeşitleme dizilimleridir.

Anten elemanları için değişik dizilim geometrileri mevcuttur. Bunların en yaygın olanları doğrusal, dairesel ve düzlemsel dizilimlerdir. Doğrusal bir dizilimde bütün dizi elemanlarının merkezleri düz bir hatta dizilmiştir. Eğer elemanlar arasındaki boşluk aynı olursa düzgün dağılımlı doğrusal dizilim olarak isimlendirilmektedir. Dairesel bir dizilimde, dizilim elemanlarının merkezleri bir daire boyunca uzanır.

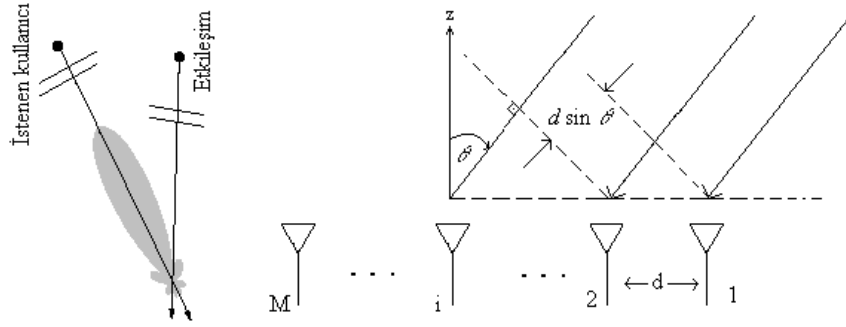
Bu çalışmada, elementler arası uzaklığın sabit olduğu, yani, eşit aralıklı düzgün dağılımlı doğrusal dizilimler incelenmiştir.

### 3.1 DÜZGÜN DAĞILIMLI DOĞRUSAL DİZİLİM

Şekil 4, dizilim boyunca  $\theta$  doğrultusundan işaretleri alan  $M$  elementli düzgün dağılımlı doğrusal anten dizilimini göstermektedir.

Burada ilk (referans) elemanında alınan işarete dayanarak her bir elemanda alınan işaretin ifadesi elde edilmektedir.

Herhangi bir elemandaki işaret, referans elemandaki işaretin zaman ilerlemeli veya zaman gecikmeli bir versiyonu olarak açıklanabilmektedir.



Şekil 4: Gelen dalga yüzeyini gösteren düzgün dağılımlı doğrusal anten dizilimi.

Şekil 4'ten referans elemanındaki işaret ikinci elemana ulaşmak için  $d \sin \theta$  mesafesi kadar daha fazla yol alacaktır.

Buna karşılık zamandaki gecikme

$$\tau = \frac{d \sin \theta}{v} \quad (3.1)$$

şeklinde verilebilir.

Buna göre dizilimdeki herhangi  $i$ . element için alınan işaret referans elemanında alınan işaret cinsinden,

$$\tilde{x}_i(t) = \tilde{x}_1(t) \exp(-j2\pi(i-1) \frac{d \sin \theta}{\lambda}) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.2)$$

şeklinde yazılabilir.

$$y(t) = [y_1(t), y_2(t), \dots, y_m(t)]^T \quad (3.3)$$

$$a(\theta) = \left[ 1, \exp\left(\frac{j2\pi d \sin \theta}{\lambda}\right), \dots, \exp\left(\frac{j2\pi(m-1)d \sin \theta}{\lambda}\right) \right]^T \quad (3.4)$$

eşitliklerini tanımlayalım.

$y(t)$  anten elemanlarındaki alınan işareti göstermek üzere, dizilimde alınan işaretin karmaşık zarfı

$$y(t) = a(\theta)x_1(t) \quad (3.5)$$

şeklinde ifade edilebilir.

$a(\theta)$  vektörü yönlendirme vektörü veya dizilim cevap vektörü olarak isimlendirilir. Yukarıdaki düşündüğümüz durumda, dizilim yönlendirme vektörü sadece geliş açısının bir fonksiyonudur.

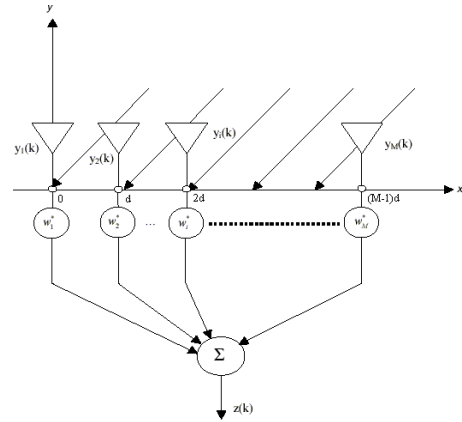
Genellikle yönlendirme vektörü dizilim geometrisi, işaret frekansı ve teker teker eleman cevabının bir fonksiyonudur. Bütün açılar ve frekanslar için yönlendirme vektörünün toplamı, dizilim etkeni olarak isimlendirilir.

### 3.2 IŞIN ŞEKİLENDİRME

Işın şekillendirme, istenen kullanıcının doğrultusu boyunca ışınları toplarken eş zamanlı olarak diğer doğrultulardan kaynaklanan işaretleri bastıran bir işlemdir. Buradan ışın şekillendirme işaretlerin uzamsal özelliklerini kullanarak işaretlerin uzamsal süzgeçlenmesi gibi de düşünülebilmektedir. Diğer bir deyişle ışın şekillendirme eleman dizilimi kullanarak işaretlerin uzamsal olarak ayırt edilmesine izin veren

bir işaret işleme tekniğidir. Işın şekillendirme tekniğinin tipik kullanım alanları arasında radar, sonar, haberleşme, görüntü işleme ve biyomedikal bulunmaktadır.

Bir ışın şekillendirici geçici olarak örneklenmiş bilgiyi birleştiren FIR filtre gibi her anten elementinden gelen örneklenmiş veriyi birleştirir. Işın şekillendirici özel olarak sıralanmış bir eleman dizilimini içerir. Her elemanın çıkışı süzgeç işlemine tabi tutulmakta ve bütün elemanların süzgeçlenen çıkışları toplanmaktadır. Işın şekillendiriciler genelde dar bant ve geniş bant ışın şekillendiricileri olmak üzere iki çeşittir. Dar bant bir ışın şekillendirici Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5: Dar bant ışın şekillendirici.

Boşluk domeninde örnekleme oranı normalize edilmiş eleman aralığının tersine ( $1/(d/\lambda)$ ) eşdeğerdir ve en yüksek frekans bileşeni ( $f_i$ ) 1'e karşılık gelmektedir ( $\sin \theta_i \leq 1$ ). Böylece uzamsal Nyquist teoremi aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\frac{1}{d/\lambda} \geq 2 * 1 \Rightarrow d \leq \frac{\lambda}{2} \quad (3.6)$$

Yukarıdaki ifadeden görüyoruz ki, uzamsal katlanmayı önlemek için elemanlar arası boşluk taşıyıcı dalga boyunun yarısından daha büyük olamaz. Frekans ortamındaki katlanmada olduğu gibi uzamsal katlanma da, farklı doğrultulardan gelen farklı iki işareti ayırmaya engel olmaktadır.

### 3.3 ALGORİTMA SEÇİMİ

Kullanılan ağırlıklar bazı uyarlamalı algoritmalar kullanılarak değiştirilmek zorundadır. Bu algoritmalar genellikle performans kriterini karşılamak için tasarlanmaktadır ve sonrasında performans kriterini karşılayan eşitlikleri elde edilmektedir. Sıklıkla kullanılan performans kriterlerinden bazıları; ortalama karesel hata (Mean Square Error), en büyük olabilirlik (Maximum Likelihood), en büyük işaret gürültü oranı (Maximum Signal to Noise Ratio) ve en büyük işaret etkileşim gürültü oranıdır (Signal to Interference Noise Ratio).

Uyarlamalı algoritmalar, en uygun ağırlık hedeflerine yaklaşmak için, yinelemeli algoritmalar kullanarak dinamik ağırlıkları belirler. Ağırlıkların dinamik bir şekilde hesaplanması işlemi ışın şekillendirme cevabını en uygun çözüme ulaştırmak için yapılmaktadır.

#### 3.3.1 EN KÜÇÜK KARELER YÖNTEMİ (LMS)

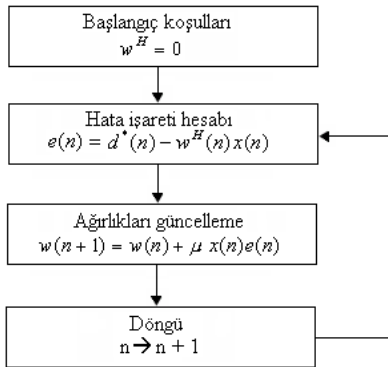
Ağırlık vektörleri aşağıdaki eşitlikleri kullanarak özyineli (recursive) bir şekilde hesaplanmaktadır.

$$w(n+1) = w(n) + \mu x(n)e(n) \quad (3.7)$$

$$e(n) = d^*(n) - w^H(n)x(n) \quad (3.8)$$

Yukarıdaki eşitlikte,  $\mu$  adım büyüklüğüdür ve bir noktada birleştirme oranını belirler.  $\mu$ 'nun seçimi korelasyon matrisine ( $R_{xx}$ ) bağlıdır.

Şekil 6'da LMS algoritmasına ilişkin akış şeması verilmektedir.



Şekil 6: LMS algoritması.

#### 3.3.2 ÖZYİNELİ EN KÜÇÜK KARELER YÖNTEMİ (RLS)

RLS algoritması aşağıdaki eşitliklerle verilen  $R_{xx}$  ve  $r_{xd}$  yaklaşımı için ağırlıklandırılmış toplamları kullanır ve matrisin tersi yinelemeli bir şekilde elde edilir ve ağırlık güncelleme eşitliği aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$w(n) = w(n-1) + q(n)[d(n) - w^H(n-1)x(n)] \quad (3.9)$$

Burada,

$$q(n) = \frac{\gamma^{-1} R_{xx}^{-1}(n-1)x(n)}{1 + \gamma^{-1} x^H(n)R_{xx}^{-1}(n-1)x(n)} \quad (3.10)$$

$$R_{xx}^{-1}(n) = \gamma^{-1} [R_{xx}^{-1}(n-1) - q(n)x(n)R_{xx}^{-1}(n-1)] \quad (3.11)$$

şeklinde dir.

### BÖLÜM 4. UZAMSAL SÜZGEÇLEME TEKNİKLERİ

Akıllı antenlerin uzamsal boyutu kullanma yeteneği adaptif dizilerin performans kazanımlarını sağlayan temel faktördür. Dizilime gelen işaretlerin geliş açısı doğrultularının (DOA) yaklaşık değerleri doğru olarak hesaplandığında; istenen işaretler, etkileşim işaretleri zayıflatılırken doğruluğu daha da iyileştirmek için, demodülatöre geçirilir. Bu süreç etkin bir biçimde anten örüntüsü doğrultusunu tüm yönlüden doğrusala değiştirir, bu da uzamsal bölmeli çoklu erişim (SDMA) düşüncesine temel teşkil eder ve BER performansını artırır [1].

Bu bölümde, zaman domeninde ışın şekillendirmeye bir giriş kullanılarak uzamsal olarak süzgeçlemeyi yani istenilen doğrultulardan gelen işaretlere duyarlı iken diğer doğrultulardan gelen işaretleri zayıflatan dizilim cevabı incelenmektedir.

#### 4.1 GENEL İŞİN ŞEKİLLENDİRME EŞİTLİKLERİ

Dizilimdeki  $M$  alıcının çıkışlarının toplanması uzamsal süzgecin karakteristiğini vermektedir. Daha genel bir durumda, uzamsal süzgeçleme işlemi çıkışı aşağıdaki gibi tanımlanan kayar ortalama veya FIR süzgece eşdeğerdir [5].

$$y(t) = a.X(t) = x(t).a.e^{jkr} \quad (4.1)$$

Burada  $a$  pencere (window) fonksiyonunu,  $X(t)$  bütün alıcıların çıkışlarını ve  $R$  her alıcının kendisine ait olan faz gecikmesini tanımlamaktadır. Bu ifadeler, matris formunda aşağıdaki gibi verilebilmektedir.

$$a = [a_0 \dots a_{M-1}]$$

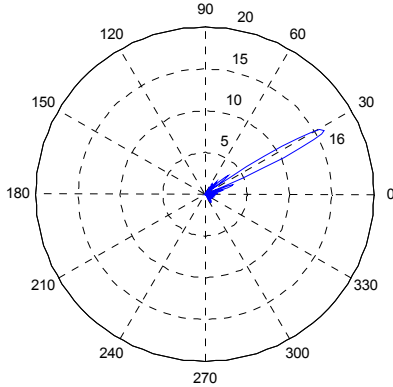
$$X(t) = [x_0(t) \dots x_{M-1}(t)]^T = x(t).e^{jkr} \quad (4.2)$$

$$R = [r_0 \dots r_{M-1}]^T$$

Süzgeç katsayıları tarafından belirlenen  $a$  pencere fonksiyonu, bu noktada rastgele düşünülmesine rağmen, genelde ana demetin genişliğini ve yan kulakçıkların yüksekliğini kontrol etmek için kullanılan dikdörtgen, Blackman, Hamming ve Barlett tipi fonksiyonlar şeklindedir.

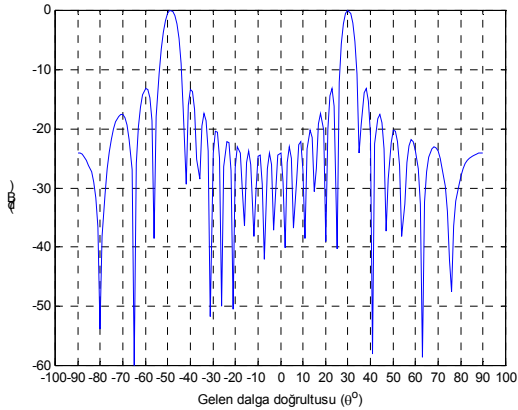
## 4.2 DOĞRUSAL DİZİLİM BENZETİM UYGULAMASI

Matlab kullanılarak doğrusal dizilimin ışınım örüntülerini analiz etmek ve parametrelerle değişiklikleri gözlemek mümkündür. Burada ışınım örüntüsü hesaplanabilmekte ve çok sayıda giriş doğrultusu olmasına rağmen belirli bir doğrultuda yönlendirme yapılmaktadır. Işınım örüntüsü ve gücü grafiksel olarak verilebilmektedir.



Şekil 7: Dikdörtgen fonksiyonu kullanılarak elde edilmiş ışınım örüntüsü ( $M = 16, d = 0,5\lambda$ ).

Şekil 7-8'de dikdörtgen pencere fonksiyonu kullanılarak elde edilmiş sonuçlar verilmiştir. Bu şekillerde, düzgün dağılımlı doğrusal dizilim düşünülmüş ve dizilime  $30^\circ$ 'lik açıyla gelen işaretin sonuçları verilmiştir. Şekil 8'de elemanlar arası mesafenin yarım dalga boyundan büyük olması nedeniyle katlanmanın oluştuğu görülmektedir.



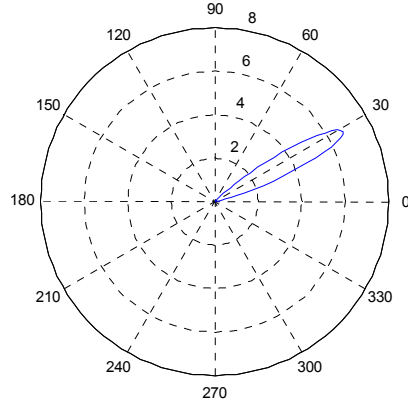
Şekil 8: Dikdörtgen fonksiyonu kullanılarak elde edilmiş ışınım örüntüsü ( $M = 16, d = 0,8\lambda$ ).

Şekil 9-10'da Blackman pencere fonksiyonu kullanılarak elde edilmiş sonuçlar verilmiştir.

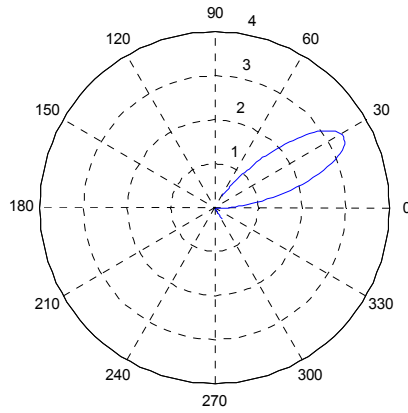
## BÖLÜM 5. SONUÇLAR

-Kullanılan pencereleme fonksiyonu ne olursa olsun, elemanlar arası uzaklık gelen işaretin yarım dalga boyundan büyük olduğunda katlanmalar ortaya çıkmaktadır. Elemanlar arası uzaklık gelen işaretin

yarım dalga boyundan başlayarak azaltıldığında ise, ana kulakçık ve yan kulakçıkların genişliği artmaktadır.



Şekil 9: Blackman fonksiyonu kullanılarak elde edilmiş ışınım örüntüsü ( $M = 16, d = 0,5\lambda$ ).



Şekil 10: Blackman fonksiyonu kullanılarak elde edilmiş ışınım örüntüsü ( $M = 8, d = 0,5\lambda$ ).

-Kullanılan eleman sayısı azaltıldığında da ana kulakçık ve yan kulakçıkların genişliği artmaktadır.

-Blackman pencereleme fonksiyonları kullanıldığında, dikdörtgen fonksiyonunda belirgin bir şekilde ortaya çıkan yan kulakçıkların etkisi çok önemli miktarda azaltılabilmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Loadman, C., Chen, Z., Jorgensen, D., 2003. "An overview of adaptive antenna technologies for wireless communications", Comm. Networks and Services Research Conference.
- [2] Okamoto, G.T., 2002. Smart Antennas and Wireless LANS. Kluwer Academic Publishers.
- [3] Smart antennas Web ProForum Tutorials, The International Engineering, Consortium, <http://www.iec.org>.
- [4] Smart Antennas – A Technical Introduction, SYMENA Software & Consulting GmbH, Austria ([www.symena.com](http://www.symena.com)).
- [5] Hampson, G. Alan, 1997. "Implementing Multi-dimensional Digital Hardware Beamformers", Department of Digital Systems, Monash University.