



**KARESEL ANTEN DİZİLERİNİN PERFORMANSLARININ
İNCELENMESİ**

Rufat BAYRAMOV

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2016

Rufat BAYRAMOV tarafından hazırlanan “KARESEL ANTEN DİZİLERİNİN PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Erkan AFACAN
Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Başkan : Prof. Dr. Erdem YAZGAN
Elektrik-Elektronik Mühendisliği, TED Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye : Doç. Dr. Nursel AKÇAM
Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: 08/06/2016

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Metin GÜRÜ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Rufat BAYRAMOV

08/06/2016

KARESEL ANTEN DİZİLERİNİN PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Rufat BAYRAMOV

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2016

ÖZET

Tek bir antenin yetersiz olduğu durumlarda anten dizilerinin kullanılması çeşitli anten parametrelerinin optimize edilmesinde esneklik sağlamaktadır. Bu çalışmada düzlemsel anten dizilerinin özel bir şekli olan karesel anten dizileri incelenmiştir. Öncelikle, 8 x 8 ve 16 x 16 boyutlu standart karesel anten dizilerinin performans analizi yapılmıştır. Daha sonra, Hadamard fark kümelerine dayanılarak elde edilmiş olan ve literatürde verilen 8 x 8 ve 16 x 16 boyutlu karesel anten dizilerinin performansları incelenmiştir. Her iki tür anten dizisi için ışınma örüntüleri, yarı güç hüzmeye genişlikleri, tepe yan kulakçık düzeyleri ve yönelticilikler hesaplanmıştır. Hadamard fark kümelerine dayalı olarak elde edilmiş olan karesel anten dizilerinin literatürde belirtilen karakteristikleri sağladığı gösterilmiştir.

Bilim Kodu : 90516

Anahtar Kelimeler : Anten dizileri, düzlemsel anten dizisi, karesel anten dizisi, fark kümeleri, Hadamard fark kümeleri

Sayfa Adedi : 55

Danışman : Prof. Dr. Erkan AFACAN

THE ANALYSIS OF THE PERFORMANCES OF SQUARE ARRAY ANTENNAS
(M. Sc. Thesis)

Rufat BAYRAMOV

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
June 2016

ABSTRACT

Whenever a single antenna is insufficient, the usage of antenna arrays provides flexibility in the optimization of several antenna parameters. In this study, square array antennas which are a special form of planar antenna arrays are investigated. First of all, the performances of standard square antenna arrays having 8×8 and 16×16 elements have been analysed. Then, the performances of square antenna arrays having 8×8 and 16×16 elements, based on Hadamard difference sets and given in the literature are analysed. For both types of antenna arrays, radiation patterns, half power beamwidths, peak sidelobe levels and directivities are calculated. It is shown that the square antenna arrays based on Hadamard difference sets maintain the characteristics given in the literature.

Science Code : 90516

Key Words : Antenna arrays, planar antenna arrays, square antenna arrays, difference sets, Hadamard difference sets

Page Number : 55

Supervisor : Prof. Dr. Erkan AFACAN

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Sayın Prof. Dr. Erkan AFACAN'a, beni bugünlere getiren ve benim için hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan sevgili annem Aiőe MÜRŐÜDOVA'ya ve babam Muharrem BAYRAMOV'a çalıőmalarımın sağlıklı bir Şekilde yürümesinde bana her zaman yardımcı oldukları için teőekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. ANTEN PARAMETRELERİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....	3
3. ANTEN DİZİLERİ	5
3.1. Doğrusal Anten Dizileri	5
3.2. Düzlemsel Anten Dizileri	6
4. KARESEL ANTEN DİZİLERİ.....	8
4.1. 8 x 8 Boyutlu Anten Dizileri	8
4.2. 16 x 16 Boyutlu Anten Dizileri.....	20
5. HADAMARD FARK KÜMELERİ İLE SENTEZLENMİŞ KARESEL ANTENLER.....	29
5.1. 8 x 8 Boyutlu Anten Dizileri.....	30
5.2. 16 x 16 Boyutlu Anten Dizileri.....	37
6. SONUÇ	48
KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ.....	50

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.1. Şekil 5.1, Şekil 5.5 ve Şekil 5.9 için elde edilen anten parametreleri.....	36
Çizelge 5.2. Şekil 5.13, Şekil 5.17, Şekil 5.21 ve Şekil 5.25 için elde edilen anten parametreleri	9



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. İzotropik antenin 3 boyutlu ışımaya örüntüsü, 2 boyutlu ışımaya örüntüsü.....	3
Şekil 3.1. Düzlemsel bir anten dizisi	7
Şekil 4.1. 64 antenden (8x8) oluşan düzlemsel anten dizisi	8
Şekil 4.2. Şekil 4.1-de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışımaya örüntüsü ($\phi=0$ ve $\phi=45$ derece için doğrusal gösterim)	9
Şekil 4.3. Şekil 4.1-de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışımaya örüntüsü ($\phi=0$ derece için kutupsal gösterim).....	9
Şekil 4.4. Şekil 4.1-de verilen anten dizisi için 3 boyutlu ışımaya örüntüsü.....	10
Şekil 4.5. Satranç tahtası şeklinde yerleştirilmiş 32 antenden oluşan düzlemsel anten dizisi	11
Şekil 4.6. Şekil 4.5'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışımaya örüntüsü ($\phi=0$ ve $\phi=45$ derece için doğrusal gösterim).....	11
Şekil 4.7. Şekil 4.5'de verilen anten dizisi için 3 boyutlu ışımaya örüntüsü	12
Şekil 4.8. Şekil 4.5'de verilen anten dizisi için 3 boyutlu ışımaya örüntüsü	12
Şekil 4.9. Köşegenler üzerine yerleştirilmiş 16 antenden oluşan düzlemsel anten dizisi	13
Şekil 4.10. Şekil 4.9-da verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışımaya örüntüsü ($\phi=0$ ve $\phi=45$ derece için doğrusal gösterim).....	14
Şekil 4.11. Şekil 4.9-da verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışımaya örüntüsü ($\phi=0$ derece için kutupsal gösterim).....	14
Şekil 4.12. Şekil 4.9-da verilen anten dizisi için 3 boyutlu ışımaya örüntüsü.....	15
Şekil 4.13. Mills haçı şeklinde yerleştirilmiş 15 antenden oluşan düzlemsel anten dizisi	16
Şekil 4.14. Şekil 4.13'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışımaya örüntüsü ($\phi=0$ ve $\phi=45$ derece için doğrusal gösterim)	16
Şekil 4.15. Şekil 4.13'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışımaya örüntüsü ($\phi=0$ derece için kutupsal gösterim).....	17
Şekil 4.16. Şekil 4.13'de verilen anten dizisi için 3 boyutlu ışımaya örüntüsü	17
Şekil	Sayfa

Şekil 4.17. T şeklinde yerleştirilmiş 15 antenden oluşan düzlemsel anten dizisi	18
Şekil 4.18. Şekil 4.17'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi=0$ ve $\phi=45$ derece için doğrusal gösterim)	19
Şekil 4.19. Şekil 4.17'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi=0$ derece için kutupsal gösterim).....	19
Şekil 4.20. Şekil 4.17'de verilen anten dizisi için 3 boyutlu ışınma örüntüsü	20
Şekil 4.21. 256 antenden (16 x 16) oluşan düzlemsel anten dizisi	21
Şekil 4.22. Şekil 4.21'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi=0$ ve $\phi=45$ derece için doğrusal gösterim).....	21
Şekil 4.23. Şekil 4.21'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi=0$ derece için kutupsal gösterim).....	22
Şekil 4.24. Şekil 4.21'de verilen anten dizisi için 3 boyutlu ışınma örüntüsü	22
Şekil 4.25. Satranç tahtası şeklinde yerleştirilmiş 128 antenden oluşan düzlemsel anten dizisi.....	23
Şekil 4.26. Şekil 4.25'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi=0$ ve $\phi=45$ derece için doğrusal gösterim)	24
Şekil 4.27. Şekil 4.25'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi=0$ derece için kutupsal gösterim).....	24
Şekil 4.28. Şekil 4.25'de verilen anten dizisi için 3 boyutlu ışınma örüntüsü	25
Şekil 4.29. Köşegenler üzerine yerleştirilmiş 16 antenden oluşan düzlemsel anten dizisi	26
Şekil 4.30. Şekil 4.29'da verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi=0$ ve $\phi=45$ derece için doğrusal gösterim)	26
Şekil 4.31. Şekil 4.29'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi=0$ derece için kutupsal gösterim).....	27
Şekil 4.32. Şekil 4.95'de verilen anten dizisi için 3 boyutlu ışınma örüntüsü	27
Şekil 5.1. 8 x 8 ızgara üzerinde Hadamard fark kümeleri kullanılarak elde edilen 28 elemanlı düzlemsel anten dizisi	30
Şekil 5.2. Şekil 5.1'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi=0$, $\phi=45$, $\phi=90$ ve $\phi=135$ derece için doğrusal gösterim)	31

Şekil	Sayfa
Şekil 5.3. Şekil 5.1'te verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışına örüntüsü ($\phi=0$ derece için kutupsal gösterim)	31
Şekil 5.4. Şekil 5.1'de verilen anten dizisi için 3 boyutlu ışına örüntüsü.....	32
Şekil 5.5. 8 x 8 ızgara üzerinde Hadamard fark kümeleri kullanılarak elde edilen 36 elemanlı düzlemsel anten dizisi	32
Şekil 5.6. Şekil 5.5'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışına örüntüsü ($\phi=0$, $\phi=45$, $\phi=90$ ve $\phi=135$ derece için doğrusal gösterim)	33
Şekil 5.7. Şekil 5.5'te verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışına örüntüsü ($\phi=0$ derece için kutupsal gösterim).....	33
Şekil 5.8. Şekil 5.5'de verilen anten dizisi için 3 boyutlu ışına örüntüsü.....	34
Şekil 5.9. 8 x 8 ızgara üzerinde Hadamard fark kümeleri kullanılarak elde edilen 36 elemanlı düzlemsel anten dizisi	34
Şekil 5.10. Şekil 5.9'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışına örüntüsü ($\phi=0$, $\phi=45$, $\phi=90$ ve $\phi=135$ derece için doğrusal gösterim)	35
Şekil 5.11. Şekil 5.9'da verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışına örüntüsü ($\phi=0$ derece için kutupsal gösterim)	35
Şekil 5.12. Şekil 5.9'de verilen anten dizisi için 3 boyutlu ışına örüntüsü.....	36
Şekil 5.13. 16 x 16 ızgara üzerinde Hadamard fark kümeleri kullanılarak elde edilen 120 elemanlı düzlemsel anten dizisi	34
Şekil 5.14. Şekil 5.13'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışına örüntüsü ($\phi=0$, $\phi=45$, $\phi=90$ ve $\phi=135$ derece için doğrusal gösterim)	38
Şekil 5.15. Şekil 5.13'te verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışına örüntüsü ($\phi=0$ derece için kutupsal gösterim).....	38
Şekil 5.16. Şekil 5.13'de verilen anten dizisi için 3 boyutlu ışına örüntüsü.....	39
Şekil 5.17. 16 x 16 ızgara üzerinde Hadamard fark kümeleri kullanılarak elde edilen 120 elemanlı düzlemsel anten dizisi	40
Şekil 5.18. Şekil 5.17'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışına örüntüsü ($\phi=0$, $\phi=45$, $\phi=90$ ve $\phi=135$ derece için doğrusal gösterim)	40
Şekil 5.19. Şekil 5.17'te verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışına örüntüsü ($\phi=0$ derece için kutupsal gösterim).....	41

Şekil	Sayfa
Şekil 5.20. Şekil 5.17'de verilen anten dizisi için 3 boyutlu ışımaya örüntüsü.....	41
Şekil 5.21. 16 x 16 ızgara üzerinde Hadamard fark kümeleri kullanılarak elde edilen 121 elemanlı düzlemsel anten dizisi	42
Şekil 5.22. Şekil 5.21'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışımaya örüntüsü ($\phi=0$, $\phi=45$, $\phi=90$ ve $\phi=135$ derece için doğrusal gösterim)	43
Şekil 5.23. Şekil 5.21'te verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışımaya örüntüsü ($\phi=0$ derece için kutupsal gösterim).....	43
Şekil 5.24. Şekil 5.21'de verilen anten dizisi için 3 boyutlu ışımaya örüntüsü.....	44
Şekil 5.25. 16 x 16 ızgara üzerinde Hadamard fark kümeleri kullanılarak elde edilen 136 elemanlı düzlemsel anten dizisi	45
Şekil 5.26. Şekil 5.25'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışımaya örüntüsü ($\phi=0$, $\phi=45$, $\phi=90$ ve $\phi=135$ derece için doğrusal gösterim)	45
Şekil 5.27. Şekil 5.25'te verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışımaya örüntüsü ($\phi=0$ derece için kutupsal gösterim).....	46
Şekil 5.28. Şekil 5.25'de verilen anten dizisi için 3 boyutlu ışımaya örüntüsü.....	46

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
λ	Dalğaboyu
db	Desibel
k	Dalda sayısı
d	Elemanlar arasındaki mesafe
E_{toplam}	Toplam elektrik alan
D	Yöneticilik

Kısaltmalar	Açıklamalar
DF	Dizi faktörü
TYKD	Tepe yan kulakçık düzeyi

1. GİRİŞ

Antenler elektromanyetik dalgaları göndermek ve almak için kullanılan cihazlardır. Elektromanyetik dalgalar göndericide çeşitli şekillerde modüle edilmekte ve alıcıda demodüle edilmektedir. Böylece iki farklı taraf arasında haberleşme sağlanmaktadır.

Daha etkin bir haberleşme için antenlerin daha yüksek bir yönelticiliğe ve kazançla sahip olmaları, aynı zamanda da daha düşük bir tepe yan kulakçık düzeyine sahip olmaları istenmektedir. Tek bir anten kullanılarak birbiriyle çelişen bu isteklerin karşılanması çok büyük tasarım ve üretim zorluklarına neden olmaktadır. Bu tür durumlarda daha esnek olmaları ve daha kolay kontrol edilebilmeleri nedeniyle anten dizilerine başvurulmaktadır.

Birden fazla anten elemanı bir araya getirilerek anten dizileri oluşturulmaktadır. Anten dizileri doğrusal, dairesel, düzlemsel olarak yerleştirilebilirler. Anten dizilerinin kullanılması, istenen özelliklerin elde edilmesini doğrudan sağlamamakta, bu durumda da bir optimizasyon yapılması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Dizideki anten elemanlarının genlikleri, fazları veya konumları optimize edilebilmektedir.

Düzlemsel anten dizileri, genel olarak, işlem kolaylığı açısından, üniform bir ızgara üzerine yarım dalgaboyu aralıkla yerleştirilmiş anten elemanlarından oluşturulmaktadır. Eleman sayısını, maliyeti, ağırlığı, güç tüketimini ve ısı kayıpları azaltmak için dizideki elemanlardan bazıları kaldırılarak seyreltme işlemi yapılır. Seyreltme işlemi için farklı stratejiler kullanılır. Rasgele anten dizileri veya genetik algoritma benzeri stokastik optimizasyon yöntemleri, fark kümeleri bu stratejiler arasında yer almaktadır.

Bu tez çalışmasında, öncelikle 8×8 ve 16×16 boyutlu standart karesel anten dizilerinin ışınma örüntüleri, yarı güç hüzmeye genişlikleri, tepe yan kulakçık düzeyleri ve yönelticilikleri hesaplanmış, böylece söz konusu anten dizilerinin performansları analiz edilmiştir. Daha sonra, literatürde verilen ve Hadamard fark kümelerine dayanarak elde edilmiş olan 8×8 ve 16×16 boyutlu karesel anten dizilerinin de ışınma örüntüleri, yarı güç hüzmeye genişlikleri, tepe yan kulakçık düzeyleri ve yönelticilikleri hesaplanmış ve performans analizleri yapılmıştır.

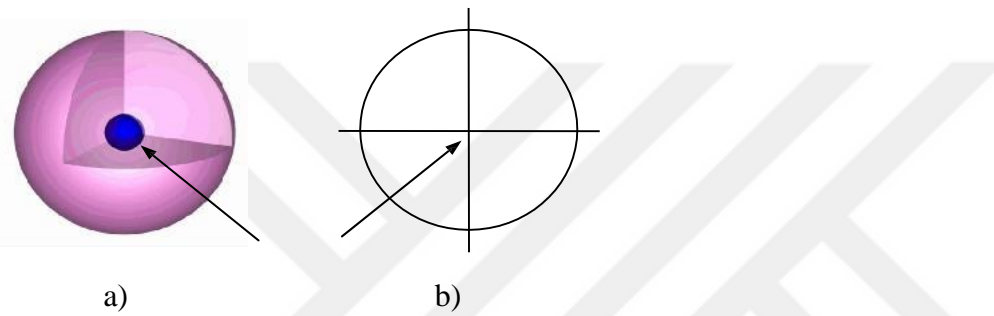
Tez çalışmasının ikinci bölümünde anten parametreleri hakkında genel bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde anten dizileri ile ilgili özet bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde standart 8×8 ve 16×16 boyutlu karesel anten dizileri ve performansları incelenmiştir. Beşinci bölümde Hadamard fark kümeleri kullanılarak elde edilmiş olan ve literatürde verilen 8×8 ve 16×16 boyutlu karesel anten dizilerinin performansları incelenmiştir. Son bölümde elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve daha sonra yapılabilecek çalışmalarla ilgili fikirlere yer verilmiştir.



2. ANTEN PARAMETRELERİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Bir anten radyo dalgalarını almak ve göndermek için kullanılan bir araçtır. Bunun için antenin öncelikle ışınım yapması gerekir. Antenin ışınım özelliklerinin uzay koordinatlarına bağlı olarak grafiksel gösterimine ışınım örüntüsü denir. Işınım örüntüsü güç veya alan örüntüsü şeklinde gösterilebilir [1].

İzotropik anten bütün yönlerde eşit ışınım yapan varsayımsal bir antendir. İzotropik anten referans amaçlı kullanılır. İzotropik antenin küre biçiminde olan üç boyutlu ışınım örüntüsü Şekil 2.1(a)'da, merkezden geçen herhangi bir düzlem üzerinde daire şeklinde olan iki boyutlu ışınım örüntüsü ise Şekil 2.1(b)'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. İzotropik antenin (a) 3-boyutlu ışınım örüntüsü, (b) 2-boyutlu ışınım örüntüsü

Omnidireksiyonel anten ise azimut düzleminde yönsüz, yükselme düzleminde yönlü olan bir antendir.

Anteni çevreleyen uzay bölgesi antenden olan uzaklığa göre üç kısımda incelenebilir. Antene en yakın bölge olan reaktif yakın alan bölgesi

$$R < 0.62 \sqrt{D^3/\lambda} \quad (2.1)$$

eşitliği ile verilir. Burada, R anten ile gözlem noktası arasındaki uzaklık, D antenin en büyük fiziksel boyutu, λ dalgaboyudur. Reaktif yakın alan bölgesinde enerji depolanması söz konusudur. Fresnel bölgesi

$$0.62 \sqrt{D^3/\lambda} < R < 2 D^2/\lambda \quad (2.2)$$

ile verilir. Uzak alan bölgesi ise

$$R > 2 D^2/\lambda \quad (2.3)$$

ile verilir. Uzak alan bölgesinde alan dağılımı uzaklıktan bağımsızdır [1].

Bir uzak alan parametresi olan ışınım şiddeti, verilen bir yön için birim katı açısına antenin

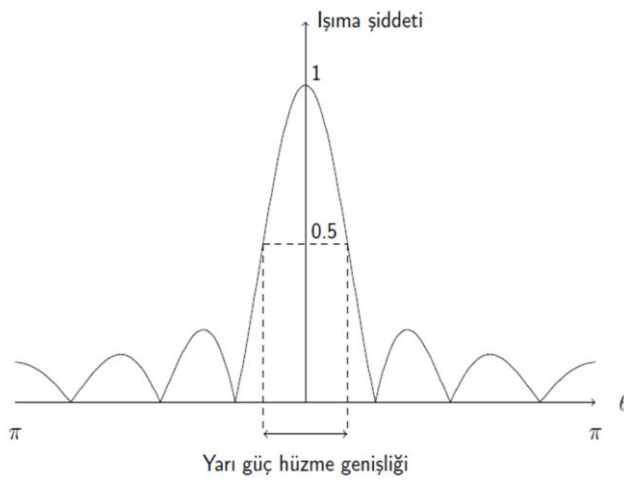
ışığı güçtür.

Yönelticilik, maksimum ışıma şiddetinin ortalama ışıma şiddetine oranıdır ve

$$D = \frac{\text{Birim katı açıdan ışıyan güç}}{\text{Birim katı açıdan ışıyan ortalama güç}} \quad (2.4)$$

ile tanımlanır.

Anten hüzmesi antenin ışıma örüntüsündeki ana kulakçıktır. Yarı güç hüzme hüzme genişliği, ışıma şiddetinin maksimum değerinin yarısına düştüğü yönler arasındaki açıdır. Ana kulakçık dışında kalan kulakçıklara yan kulakçık denir ve ana kulakçığın tam arkasında kalan kulakçığa da arka kulakçık denir.



Şekil 2.2. Yarı güç hüzme genişliği

3. ANTEN DİZİLERİ

Tek bir antenin ışıma örüntüsü incelendiğinde, hüzme açıklığının geniş olduğu ve yönelticiliğin küçük olduğu görülebilir. Ancak uzak mesafeler ile haberleşme gerektiren durumlarda veya radar uygulamalarında anten gücünün istenen bir doğrultuda yoğunlaştırılması beklenmektedir. Tek bir antenin bu ihtiyacı karşılaması anten gücünün yeteri kadar yükseltilmesi ile mümkün olabilir. Fakat bu gücü sağlayacak tek bir antenin üretilmesi, montajının ve beslemesinin yapılması pratik zorluklara neden olmaktadır. Bu tür problemler anten dizilerinin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Birden fazla anten bir araya getirilerek ve birlikte kullanılarak istenen anten gücü sağlanabilmektedir. Bu şekilde, birden fazla antenin belirli geometrik şekillerde bir araya getirilmesi ile oluşan anten yapılarına anten dizileri denir [1].

Dizi elemanlarının her biri farklı yapıda ve farklı elektriksel özellikte olabilir. Ancak işlem kolaylığı açısından her bir eleman özdeş olarak kabul edilmektedir. Anten dizileri bir, iki veya üç boyutlu olabilir. Bu dizilerde her bir dizi elemanı uzayın belirli bir noktasına ışın yapar ve dizinin o noktada yaptığı ışın her bir elemanın yaptığı ışınların toplanmasıyla elde edilir. Bu sayede tek bir anten elemanının ışın örüntüsünden daha farklı bir ışın örüntüsü ortaya çıkar. Anten dizileri kullanılarak, tek bir antene oranla, daha düşük yan kulakçık düzeyi, daha dar ana hüzmeye, daha yüksek yönelticilik değerleri sağlanabilir.

3.1. Doğrusal Anten Dizileri

Anten dizileri çeşitli geometrik şekillerde yerleştirilebilir. Dizi elemanlarının bir doğru üzerinde konumlandırılması durumunda bu tür dizilere doğrusal anten dizisi denir. Dizideki tüm anten elemanlarının uzak alanda oluşturduğu toplam elektrik alan

$$E_{\text{toplam}} = E_{\text{tek eleman}} \times DF \quad (3.1)$$

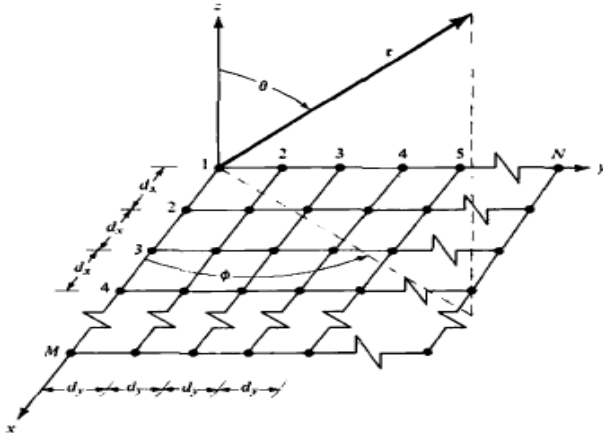
şeklinde tanımlanır. Burada DF, Dizi Faktörü'dür. z - eksenine üzerine yerleştirilmiş N elemanlı bir anten dizisinin Dizi Faktörü, $\psi = kd \cos\theta + \beta$ olmak üzere,

$$D = \frac{1 \sin\left(\frac{N}{2}\psi\right)}{N \sin\left(\frac{1}{2}\psi\right)} \quad (3.2)$$

şeklinde tanımlanabilir. Burada $k=2\pi/\lambda$ dalga sayısı, d ardışık iki dizi elemanı arasındaki mesafe ve β ardışık iki dizi elemanı arasındaki faz farkıdır [1].

3.2. Düzlemsel Anten Dizileri

Anten elemanlarının iki boyutlu bir düzlem üzerine yerleştirilmesiyle düzlemsel anten dizileri elde edilir. Faz kaydırma özelliği kullanılmak istenirse, her bir anten elemanının kendisine ait bir faz kaydırıcısı olmalıdır. Düzlemsel anten dizileri, iki farklı düzlemde tarama yapılması olanağı sağlar. Düzlemsel anten dizileri kullanılarak daha düşük yan kulakçık düzeyine sahip ışın örüntüleri elde edilebilir.



Şekil 3.1. Düzlemsel bir anten dizisi [1]

Örnek bir düzlemsel anten dizisi Şekil 3.1'de görülmektedir. Şekil 3.1'de x eksenini boyunca M adet anten, y eksenini boyunca N adet anten yerleştirilmiştir. I_n ve I_m anten elemanlarının uyarım akımları olmak üzere, dizi faktörü DF

$$D = \sum_{n=1}^N I_n \left[\sum_{m=1}^M I_m e^{j(m-1)(kd_x \sin\theta \cos\phi + \beta_x)} \right] e^{j(n-1)(kd_y \sin\theta \cos\phi + \beta_y)} \quad (3.3)$$

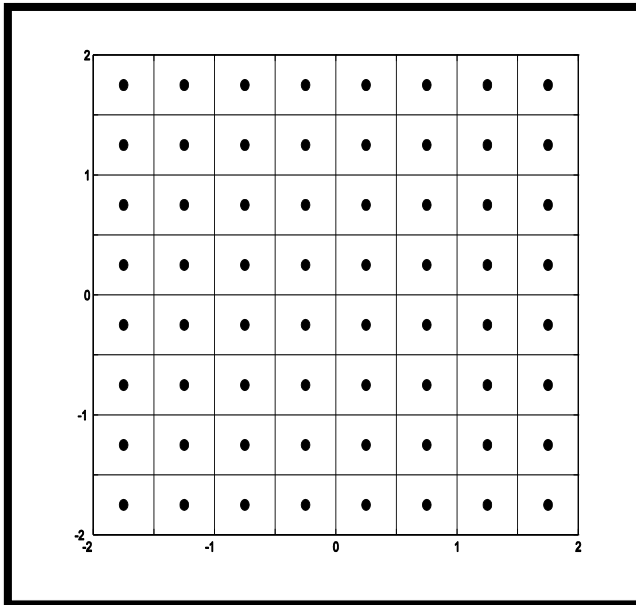
şeklinde yazılabilir. Burada d_x x eksenini boyunca yerleştirilmiş olan elemanlar arasındaki mesafeyi, β_x ise faz farkını göstermektedir. d_y ve β_y benzer şekilde tanımlanmaktadır.

4. KARESEL ANTEN DİZİLERİ

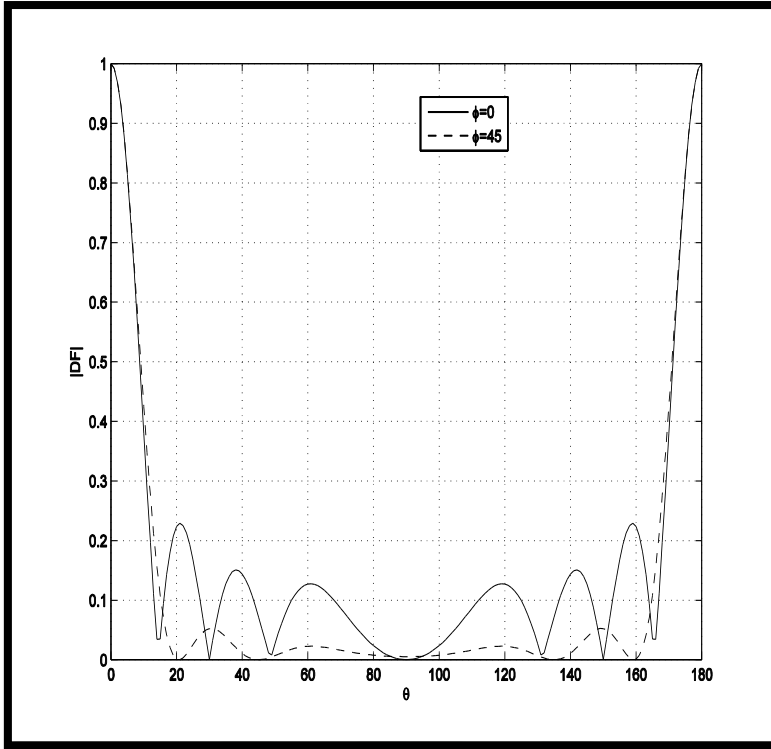
Bir düzlemsel anten dizisinde, dizi elemanları $N \times N$ bir kare ızgara üzerine yerleştirilirse karesel anten dizisi elde edilir. Bu bölümde çeşitli karesel anten dizilerinin ışınma karakteristikleri incelenmiştir.

4.1. 8 x 8 Boyutlu Anten Dizisi

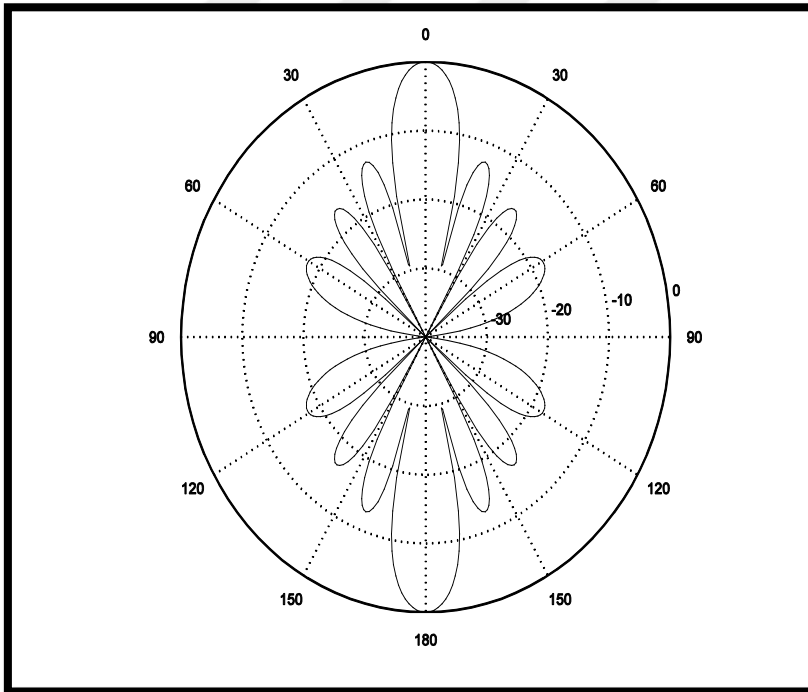
Aralarındaki mesafe $d = \frac{\lambda}{2}$ olan 64 antenden oluşan ve 8×8 bir ızgara üzerine yerleştirilmiş olan bir anten dizisi Şekil 4.1'de görülmektedir.



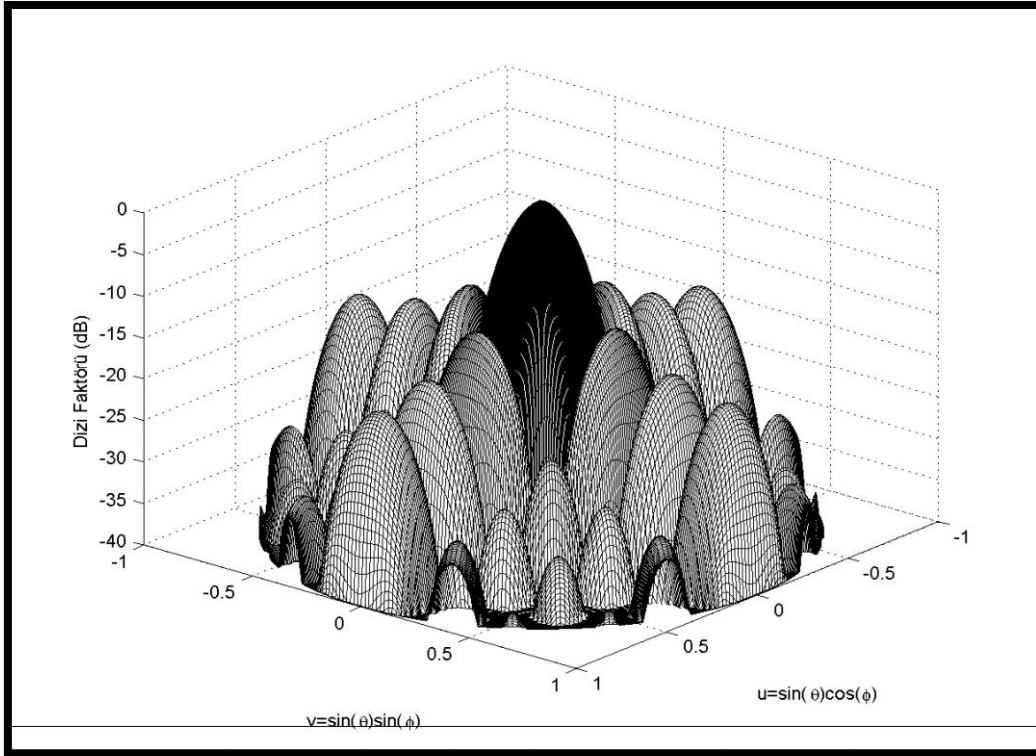
Şekil 4.1. 64 antenden (8x8) oluşan düzlemsel anten dizisi



Şekil 4.2. Şekil 4.1'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi = 0$ ve $\phi = 45$ derece için doğrusal gösterim)



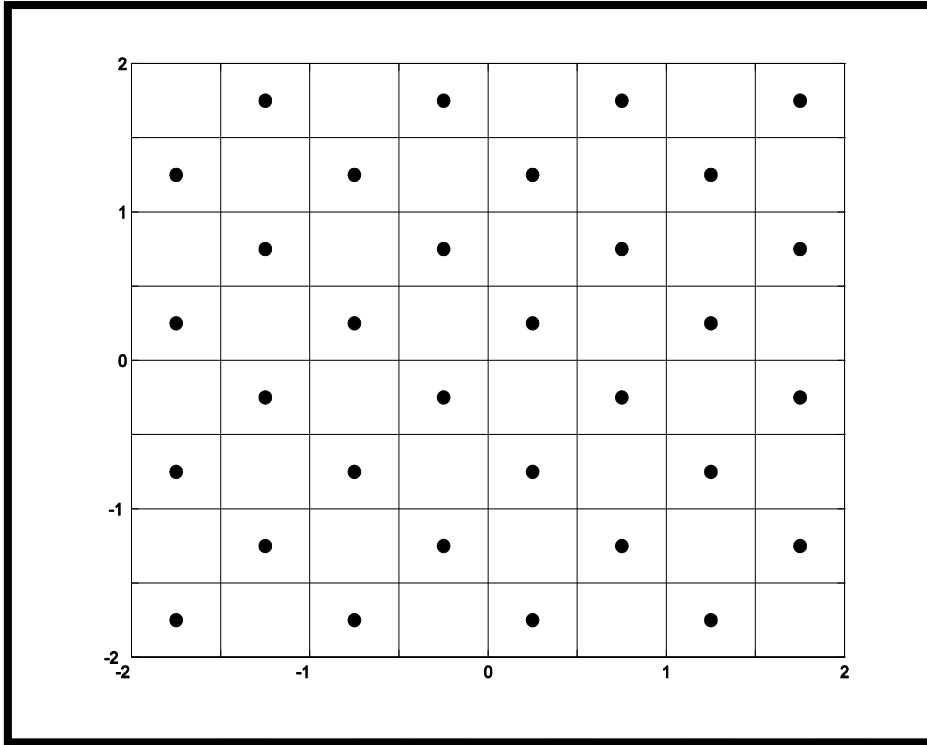
Şekil 4.3. Şekil 4.1'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi = 0$ derece için kutupsal gösterim)



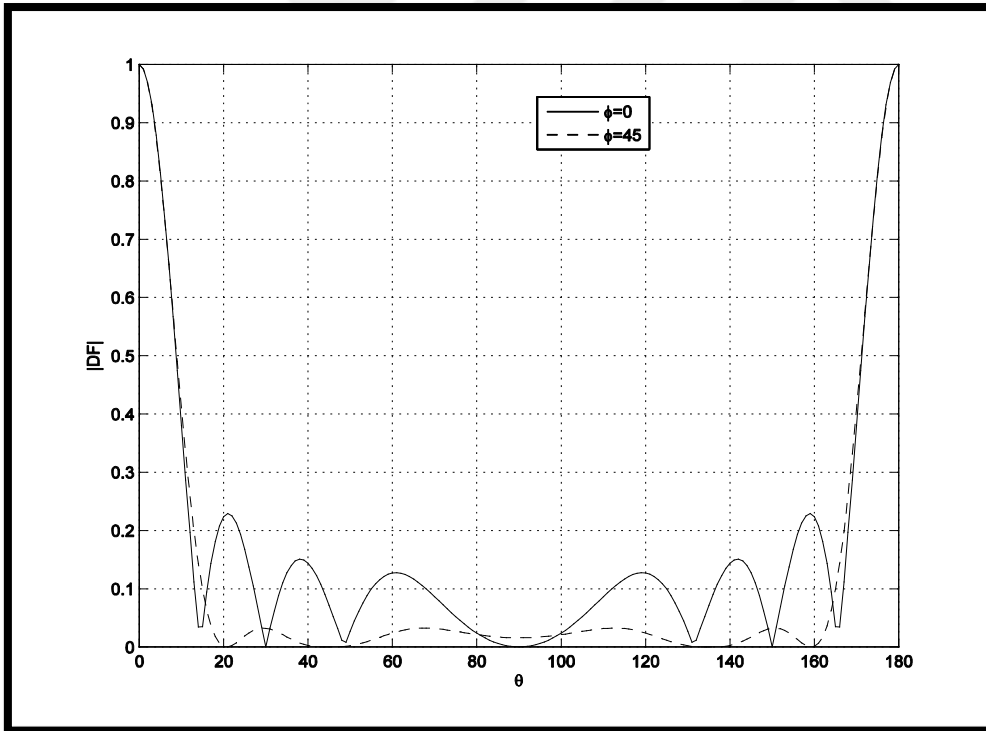
Şekil 4.4. Şekil 4.1'de verilen anten dizisi için 3 boyutlu ışınma örüntüsü

Şekil 4.1'deki düzlemsel anten dizisi için ışınma örüntüleri Şekil 4.2-4.4'te gösterilmektedir. Şekil 4.2'de $\phi = 0$ ve $\phi = 45$ derece düzlemleri için iki boyutlu ışınma örüntüsü doğrusal gösterimle, Şekil 4.3'te $\phi = 0$ derece düzlemi için iki boyutlu ışınma örüntüsü kutupsal gösterimle verilmektedir. Şekil 4.4 söz konusu anten dizisi için 3 boyutlu ışınma örüntüsünü göstermektedir. Bu anten dizisi için yarı güç hüzme genişliği $\phi = 0$ ve $\phi = 90$ derece düzlemlerinde $\Delta\theta = 12,98^\circ$, $\phi = 45$ derece düzleminde $\Delta\theta = 13,23^\circ$ olarak bulunmuştur. Tepe yan kulakçık düzeyi (peak sidelobe level) TYKD = 0,229 \Rightarrow -12,80 dB'dir. Anten dizisinin yönelticiliği $D = 94,35$ olarak bulunmuştur.

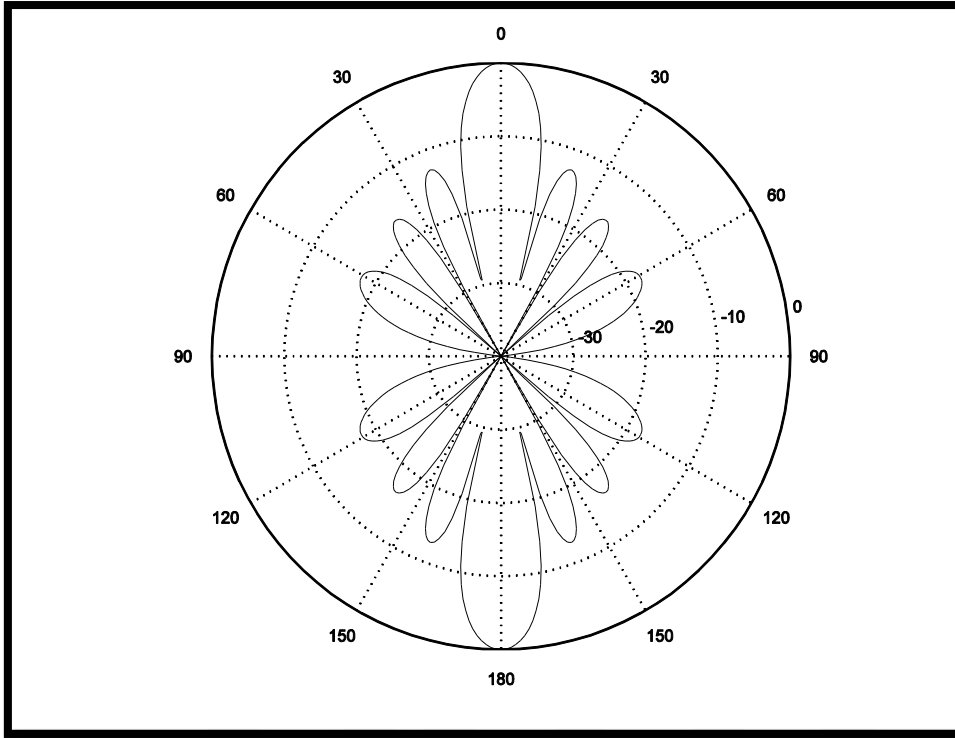
Böylesi bir dizinin olumsuzluklarından bir tanesi fazla sayıda anten elemanı olmasıdır. Eleman sayısı radyoastronomi açısından büyük önem taşımaktadır. Antenlerden bir kısmının diziden çıkartılması mümkündür. Bu durumda yönelticilikte bir miktar azalma olması beklenmektedir. Seyreltme amacıyla 64 antenden 32 tanesi 8 x 8 ızgara üzerine Şekil 4.5'de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir.



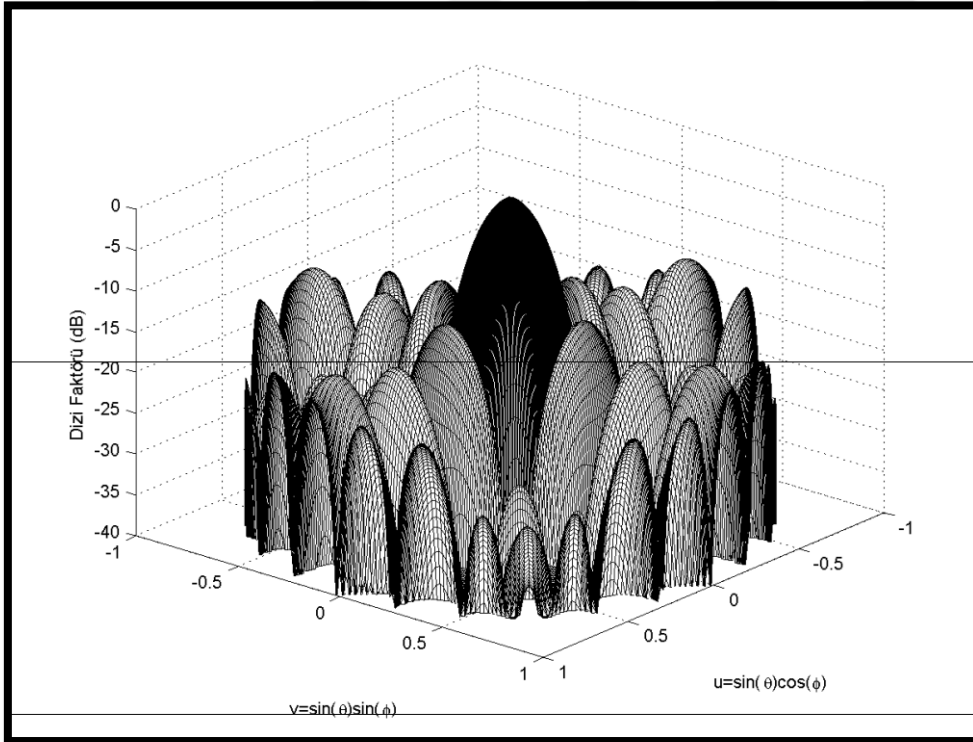
Şekil 4.5. Satranç tahtası şeklinde yerleştirilmiş 32 antenden oluşan düzlemsel anten dizisi



Şekil 4.6. Şekil 4.5'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi = 0$ ve $\phi = 45$ derece için doğrusal gösterim)



Şekil 4.7. Şekil 4.5'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışımaya örüntüsü ($\phi = 0$ derece için kutupsal gösterim)

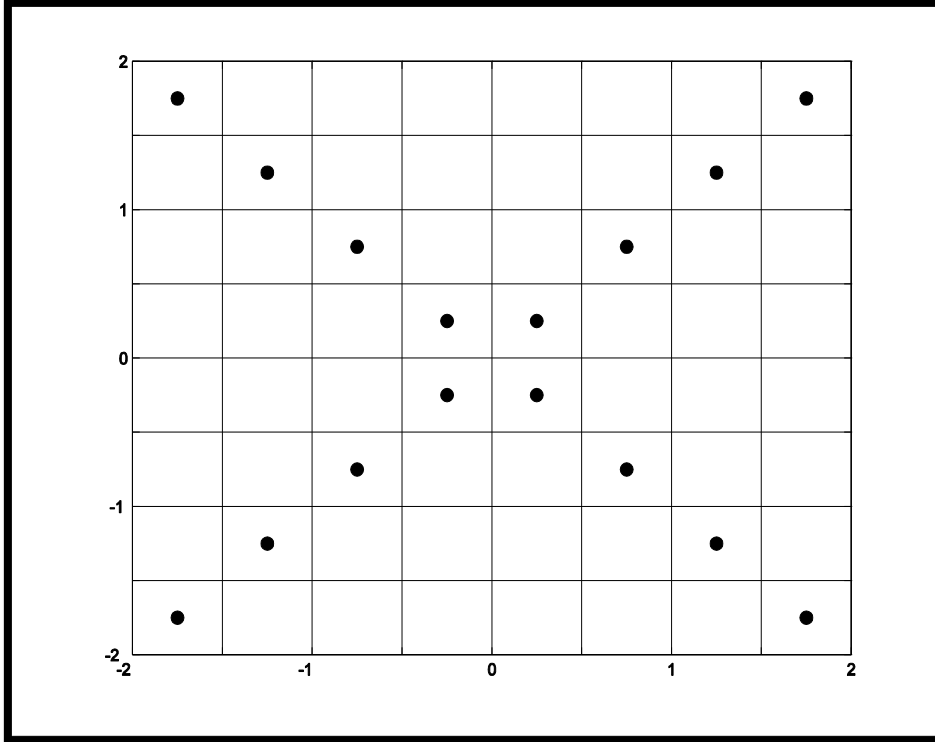


Şekil 4.8. Şekil 4.5'de verilen anten dizisi için 3 boyutlu ışımaya örüntüsü

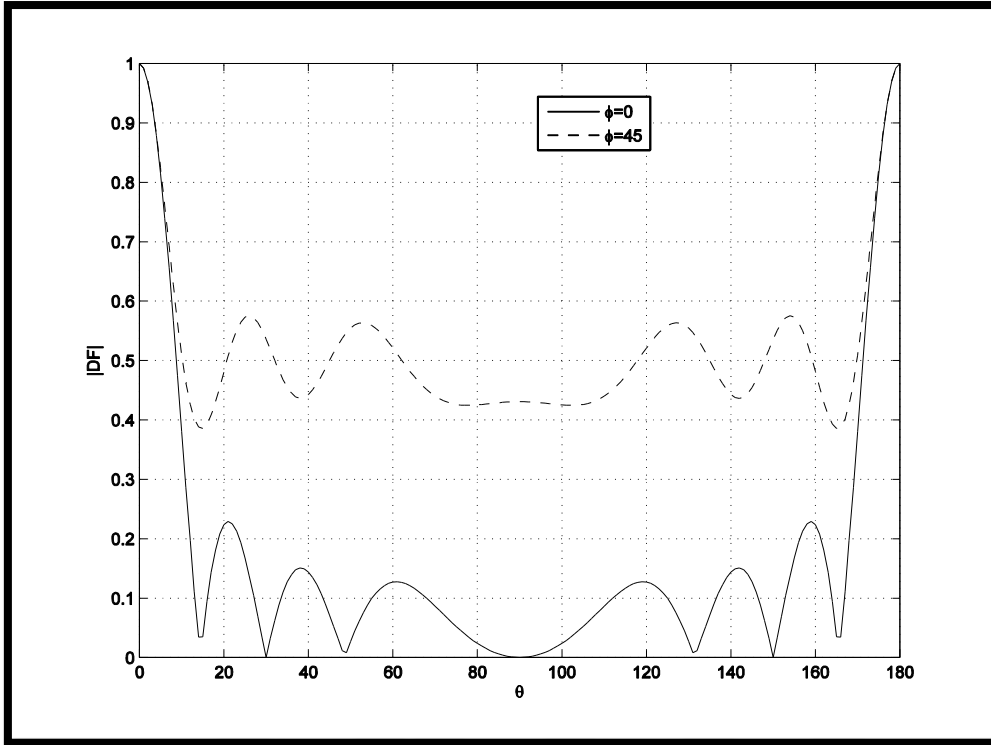
Şekil 4.5'deki düzlemsel anten dizisi için ışımaya örüntüleri Şekil 4.6-4.8'te gösterilmektedir. Bu anten dizisi için yarı güç hüzme genişliği $\phi = 0$ ve $\phi = 90$ derece düzlemlerinde $\Delta\theta = 12,98^\circ$, $\phi = 45$ derece düzleminde $\Delta\theta = 12,94^\circ$ olarak bulunmuştur. Tepe yan kulakçık düzeyi TYKD

= 0,231 => -12,72 dB'dir. Anten dizisinin yönelticiliği $D = 77,63$ olarak bulunmuştur. Verilerden görüldüğü üzere, yan kulakçık düzeyinde anlamlı bir değişim olmamıştır.

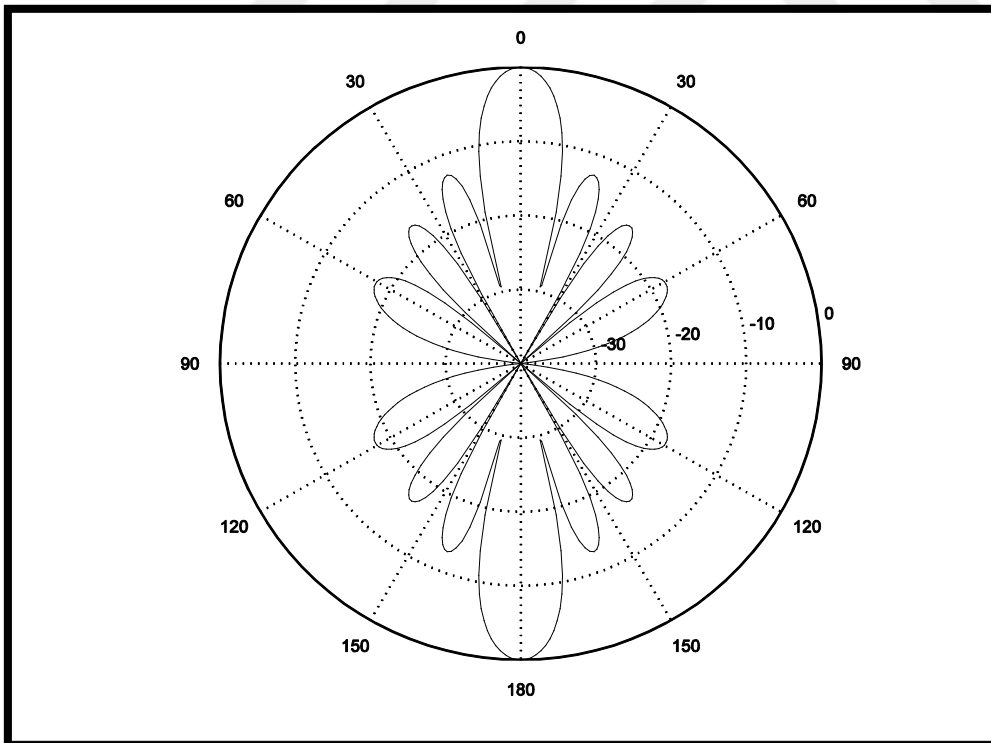
Köşegenler üzerine yerleştirilerek seyreltilmiş olan ve 16 antenden oluşan bir düzlemsel dizi Şekil 4.9'da gösterilmiştir



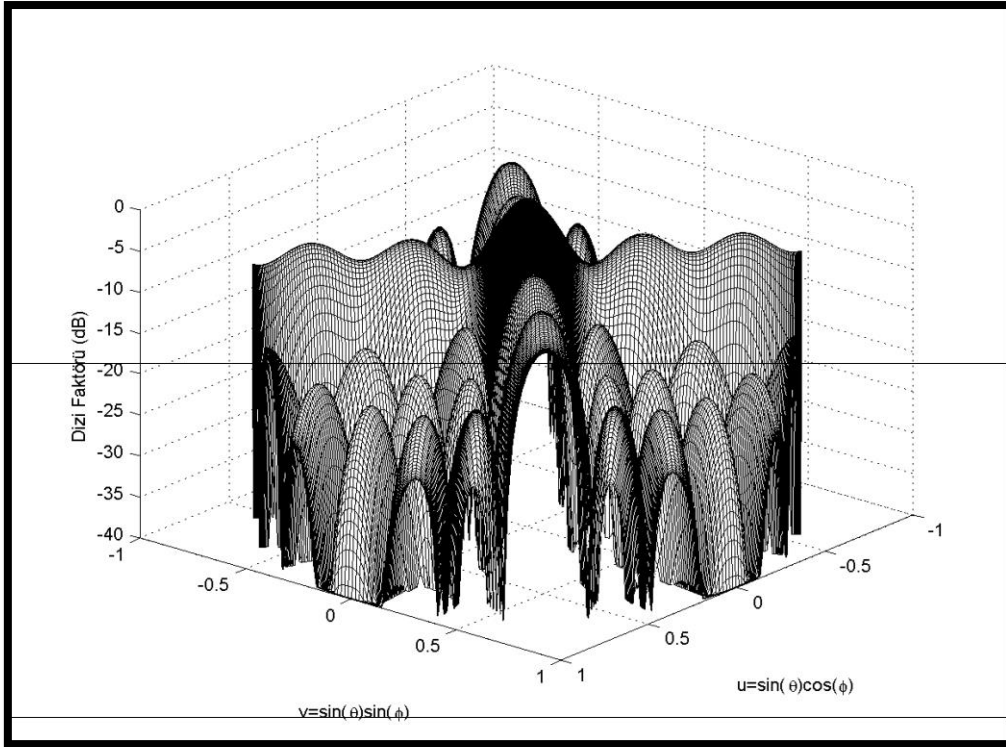
Şekil 4.9. Köşegenler üzerine yerleştirilmiş 16 antenden oluşan düzlemsel anten dizisi



Şekil 4.10. Şekil 4.9'da verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi = 0$ ve $\phi = 45$ derece için doğrusal gösterim)



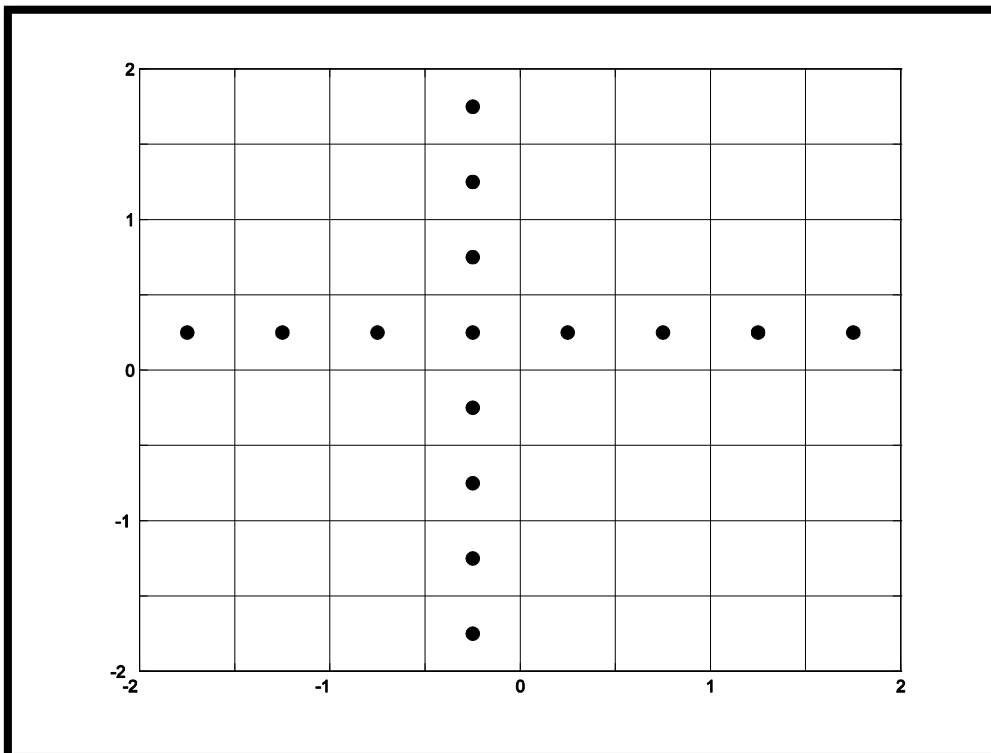
Şekil 4.11. Şekil 4.9'da verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi = 0$ derece için kutupsal gösterim)



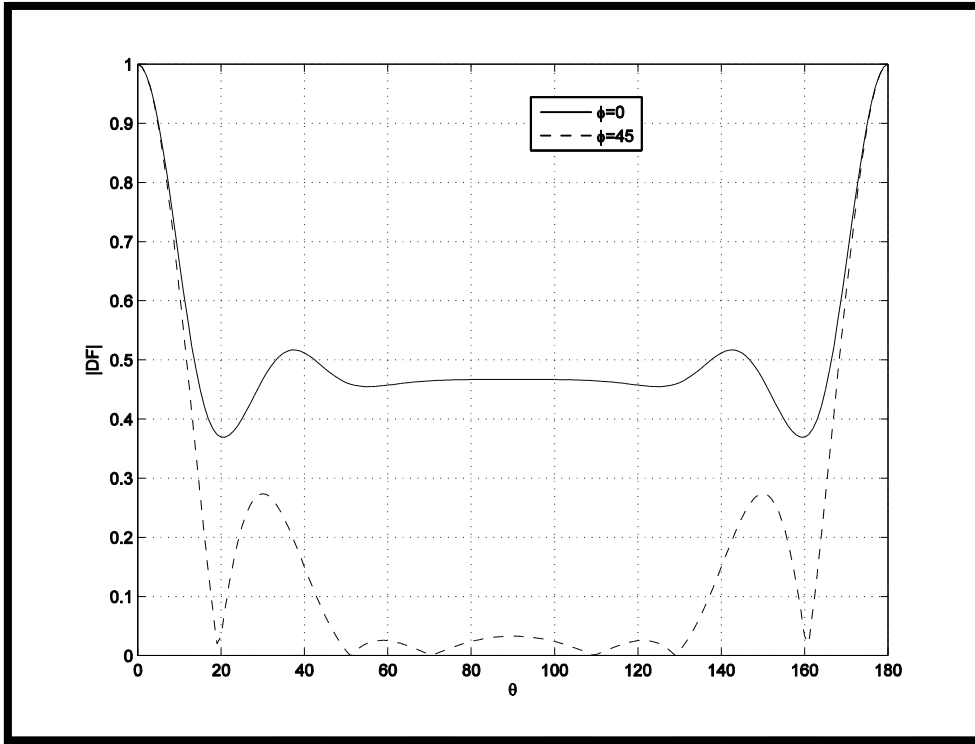
Şekil 4.12. Şekil 4.9'da verilen anten dizisi için 3 boyutlu ışınma örüntüsü

Şekil 4.9'daki düzlemsel anten dizisi için ışınma örüntüleri Şekil 4.10-4.12'de gösterilmektedir. Bu anten dizisi için yarı güç hüzmeye genişliği $\phi = 0$ ve $\phi = 90$ derece düzlemlerinde $\Delta\theta = 12,98^\circ$, $\phi = 45$ derece düzleminde $\Delta\theta = 13,81^\circ$ olarak bulunmuştur. Tepe yan kulakçık düzeyi $TYKD = 0,575 \Rightarrow -4,80$ dB'dir. Anten dizisinin yöneltiliği $D = 21,90$ olarak bulunmuştur. Görüldüğü üzere, tepe yan kulakçık düzeyi aşırı ölçüde artmış, yöneltilik belirgin bir şekilde azalmıştır. Bu durum bu diziyi kullanılamaz hale getirmektedir.

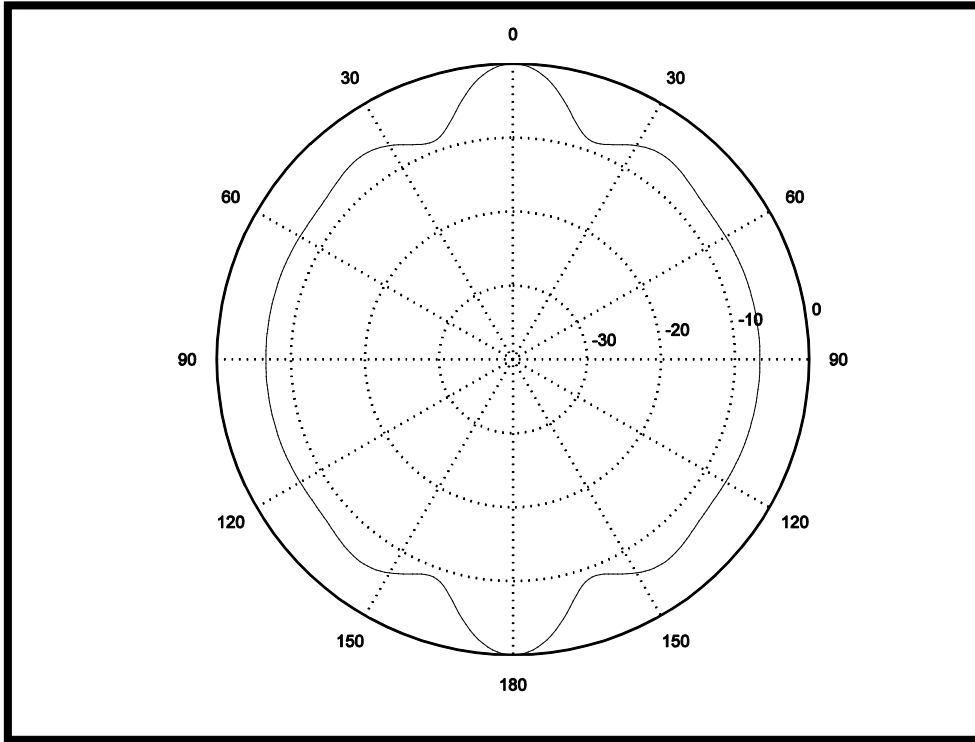
Şimdi de elemanların haç şeklinde yerleştirilmesini inceleyelim (Şekil 4.13). Bu yerleşim Mills haçı olarak da adlandırılır ve radyoastronomide alıcı modülünde kullanılır.



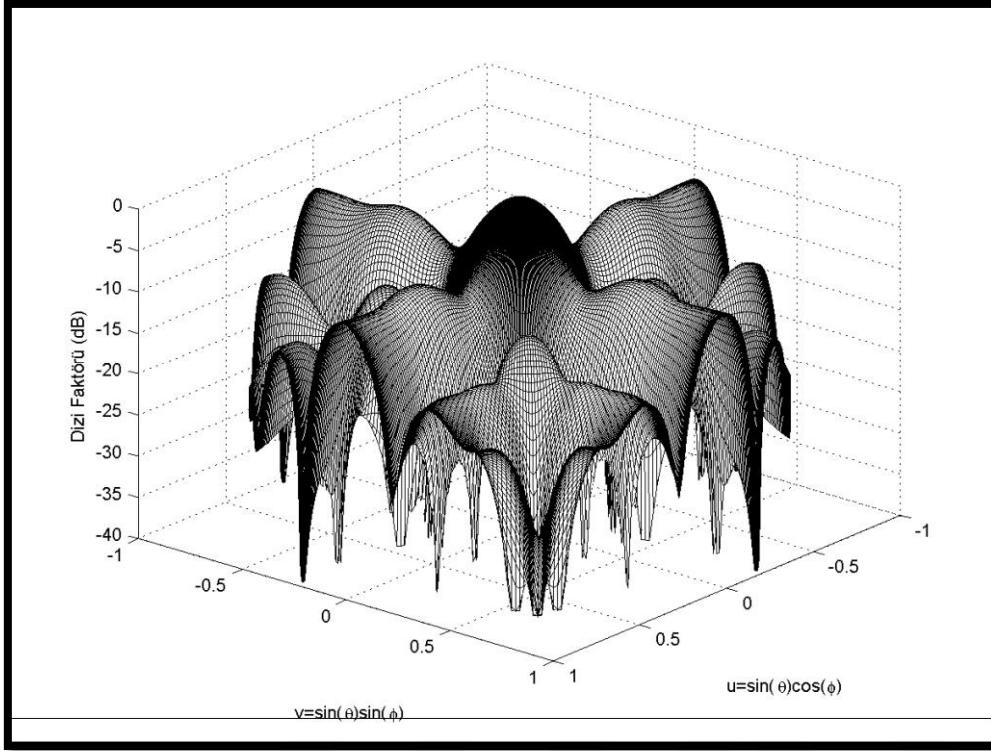
Şekil 4.13. Mills haçı şeklinde yerleştirilmiş 15 antenden oluşan düzlemsel anten dizisi



Şekil 4.14. Şekil 4.13'te verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi = 0$ ve $\phi = 45$ derece için doğrusal gösterim)



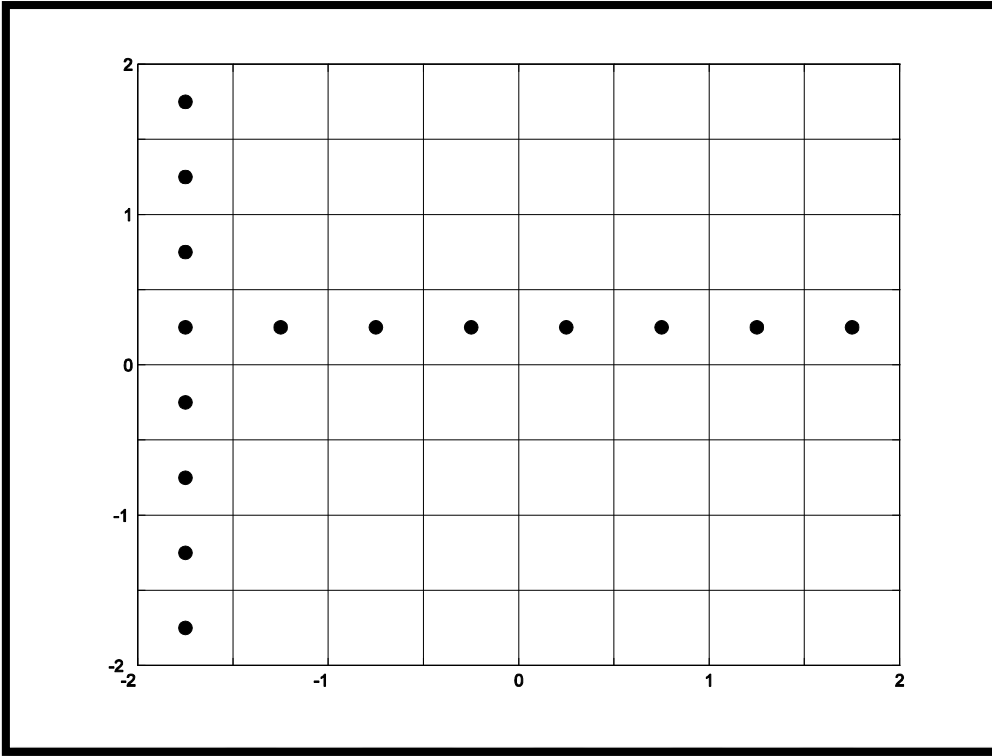
Şekil 4.15 Şekil 4.13'te verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi = 0$ derece için kutupsal gösterim)



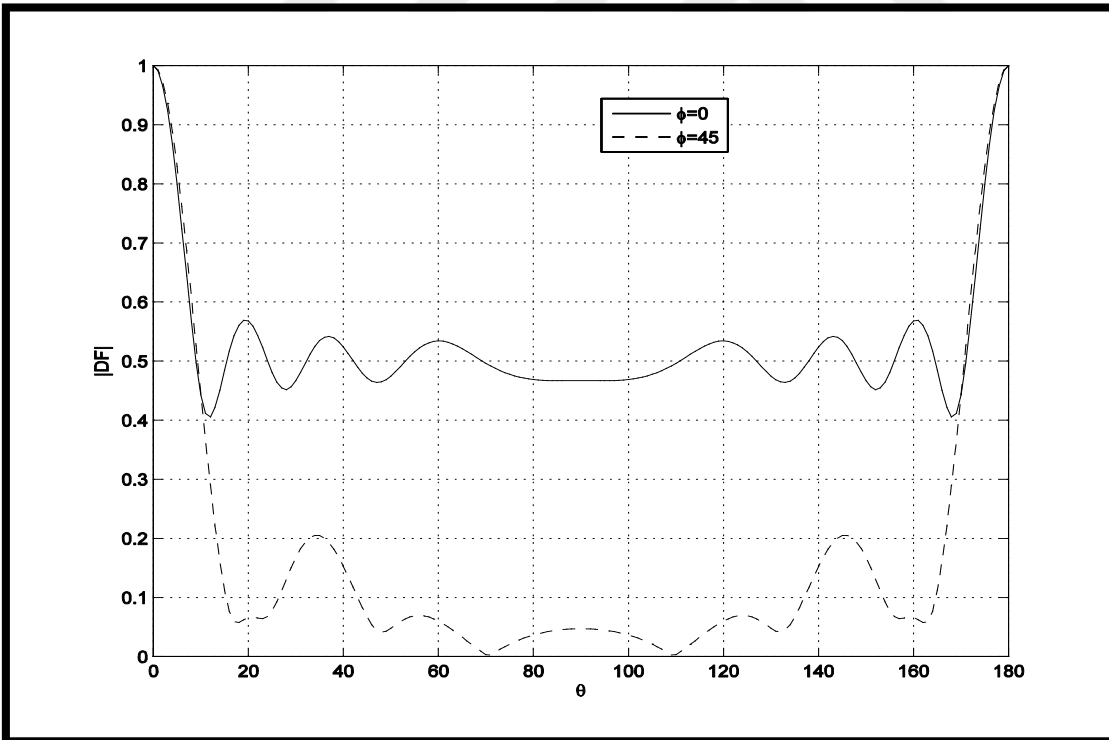
Şekil 4.16. Şekil 4.13'te verilen anten dizisi için 3 boyutlu ışınma örüntüsü

Şekil 4.13'teki düzlemsel anten dizisi için ışınma örüntüleri Şekil 4.14-4.16'da gösterilmektedir. Bu anten dizisi için yarı güç hüzmeye genişliği $\phi = 0$ ve $\phi = 90$ derece düzlemlerinde $\Delta\theta = 18,58^\circ$, $\phi = 45$ derece düzleminde $\Delta\theta = 17,38^\circ$ olarak bulunmuştur. Tepe yan kulakçık düzeyi $TYKD = 0,517 \Rightarrow -5,73$ dB'dir. Anten dizisinin yöneltiliği $D = 15,79$ olarak bulunmuştur. Görüldüğü üzere, yöneltilik daha da azalmıştır. Tepe yan kulakçık düzeyi yine kabul edilemez bir düzeydedir.

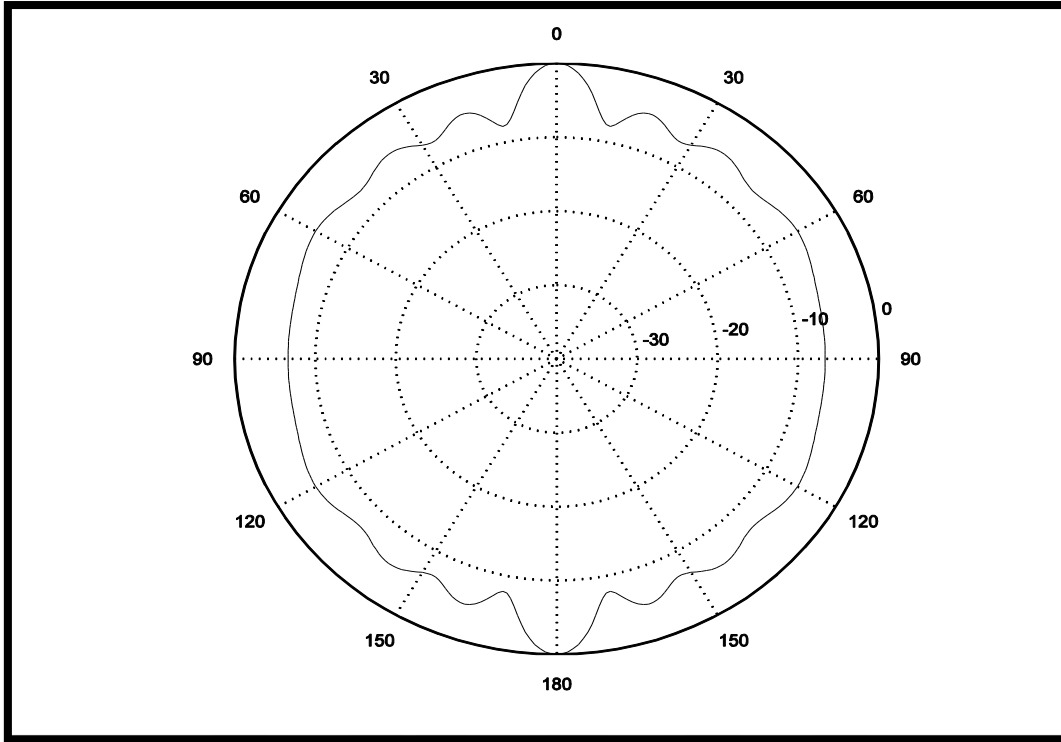
Anten elemanlarının T şeklinde yerleştirilmesi ile de Mills haçına benzer bir şekil elde edilmektedir (Şekil 4.17).



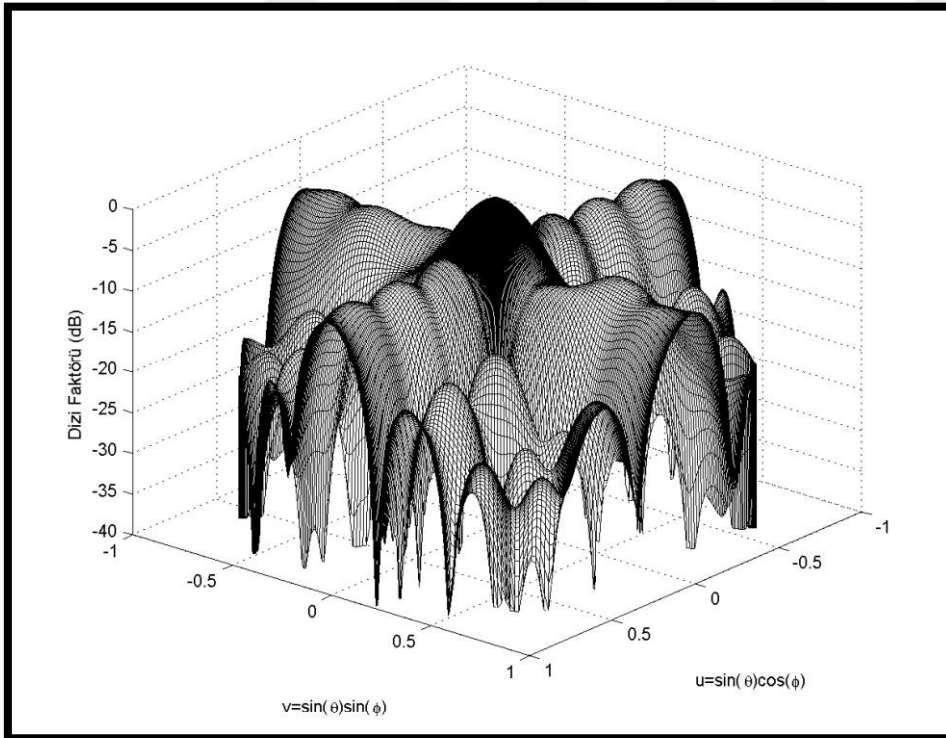
Şekil 4.17. T şeklinde yerleştirilmiş 15 antenden oluşan düzlemsel anten dizisi



Şekil 4.18. Şekil 4.17'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi = 0$ ve $\phi = 45$ derece için doğrusal gösterim)



Şekil 4.19. Şekil 4.17'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışımaya örüntüsü ($\phi = 0$ derece için kutupsal gösterim)



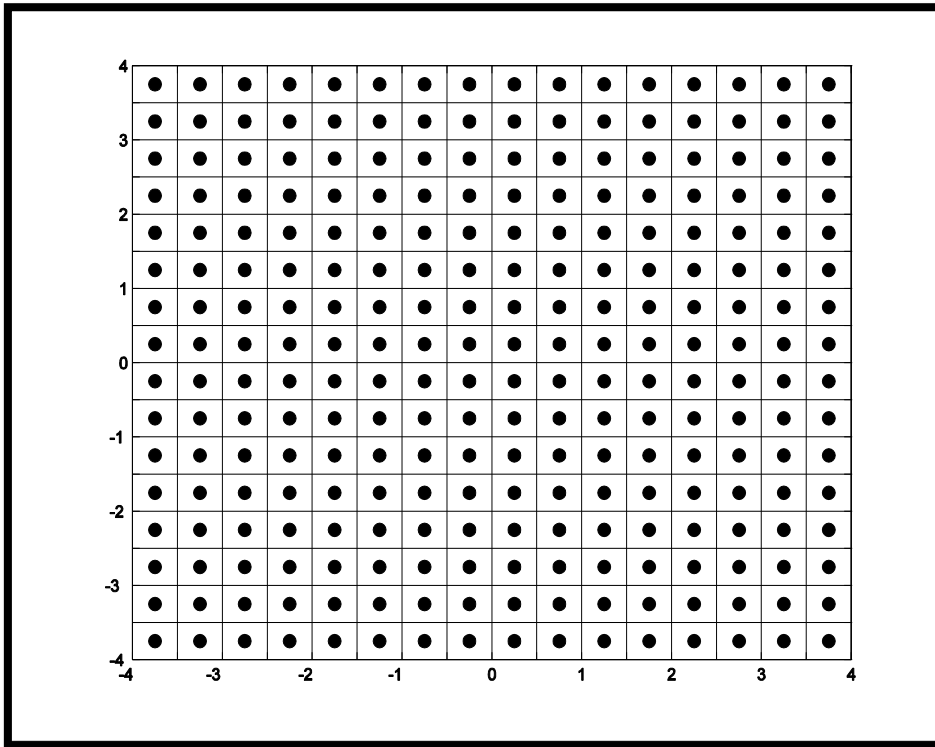
Şekil 4.20. Şekil 4.17'de verilen anten dizisi için 3 boyutlu ışımaya örüntüsü

Şekil 4.17'deki düzlemsel anten dizisi için ışımaya örüntüleri Şekil 4.18-4.20'de gösterilmektedir. Bu anten dizisi için yarı güç hüzmeye genişliği $\phi = 0$ düzleminde $\Delta\theta = 12,60^\circ$, $\phi = 45$ derece düzleminde $\Delta\theta = 13,67^\circ$, $\phi = 90$ derece düzleminde $\Delta\theta =$

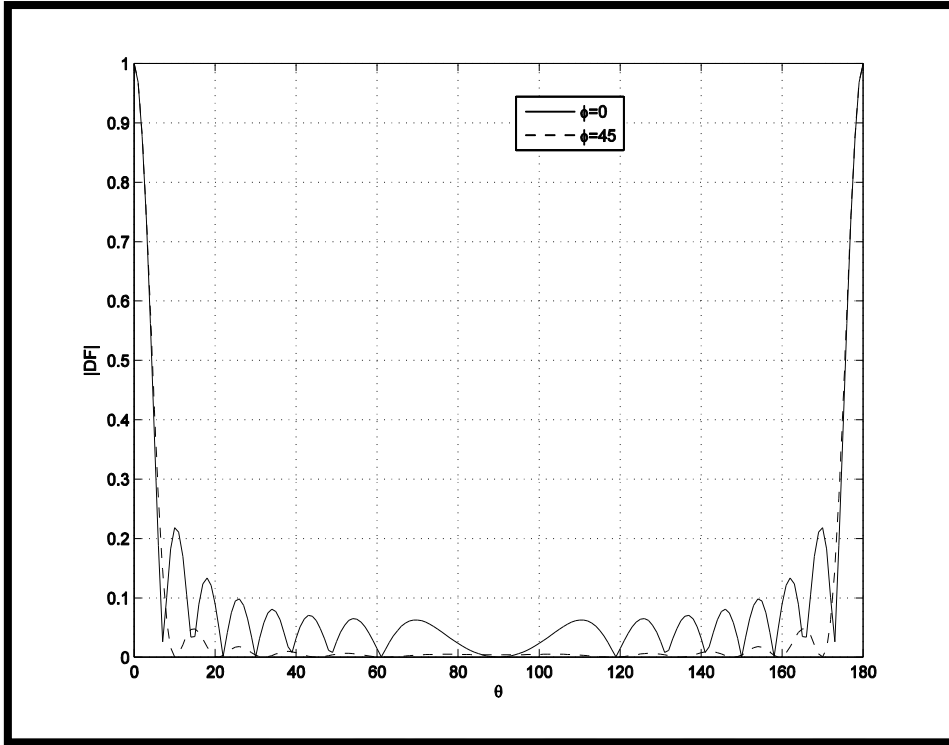
18.58° olarak bulunmuştur. Tepe yan kulakçık düzeyi $TYKD = 0,569 \Rightarrow -4,90$ dB'dir. Dizinin yöneltiliği $D = 15,55$ olarak bulunmuştur. Elde edilen anten parametrelerinin yetersiz olduğu görülmektedir.

4.2 16 x 16 Boyutlu Anten Dizisi

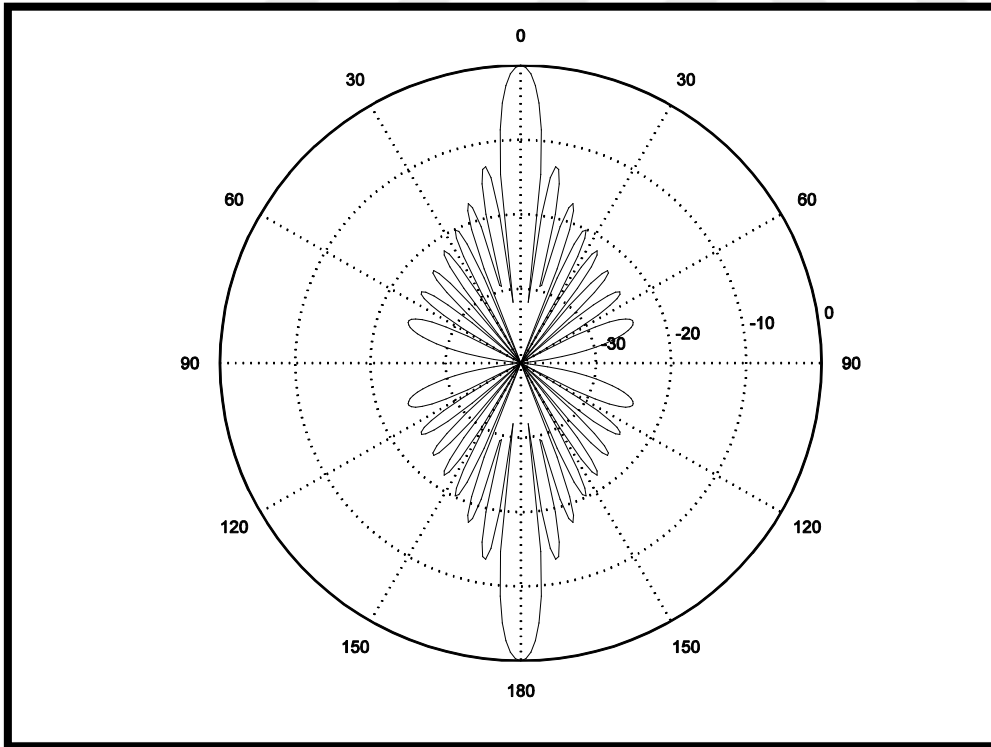
Bu bölümde 16 x 16 elemanlı anten dizileri incelenmiştir. Şekil 4.21'de 16 x 16 bir ızgara üzerine yerleştirilmiş olan 256 elemanlı bir düzlemsel anten dizisi görülmektedir. 16 x 16 boyutlarındaki satranç tahtası tamamen kaplanmış durumdadır.



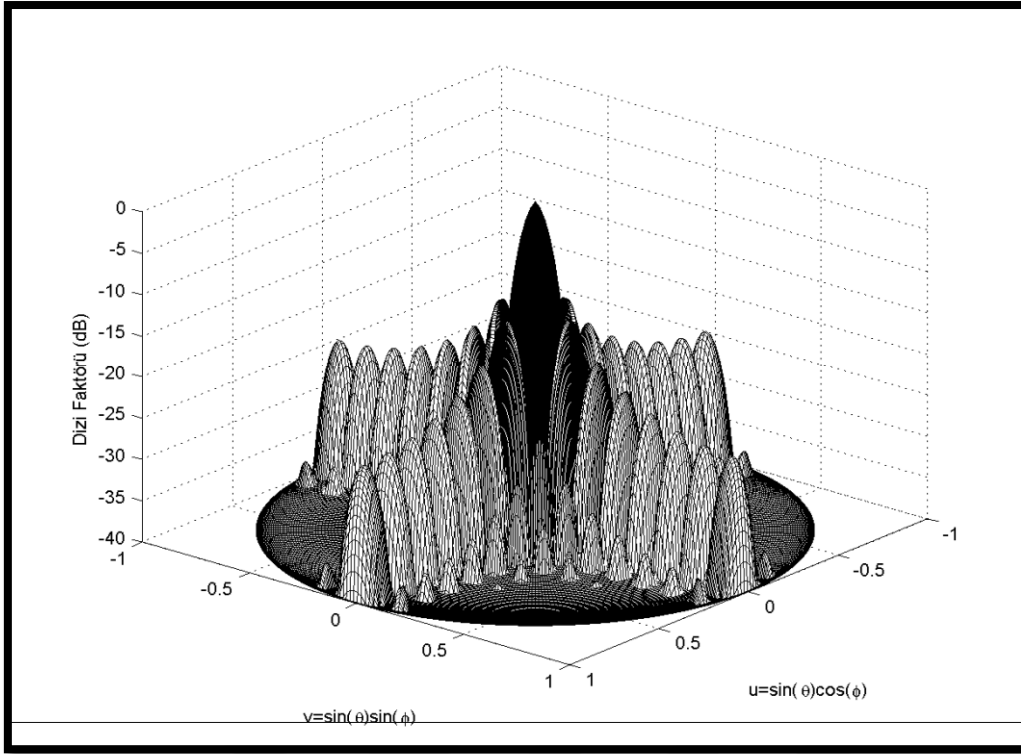
Şekil 4.21. 256 antenden (16 x 16) oluşan düzlemsel anten dizisi



Şekil 4.22. Şekil 4.21'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi = 0$ ve $\phi = 45$ derece için doğrusal gösterim)



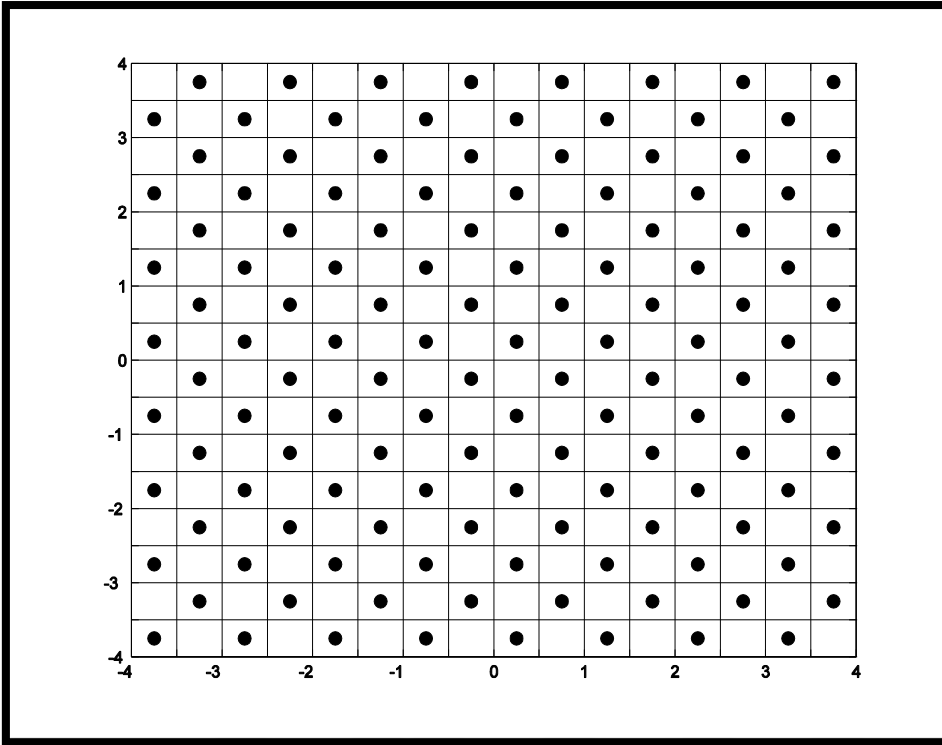
Şekil 4.23. Şekil 4.21'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi = 0$ derece için kutupsal gösterim)



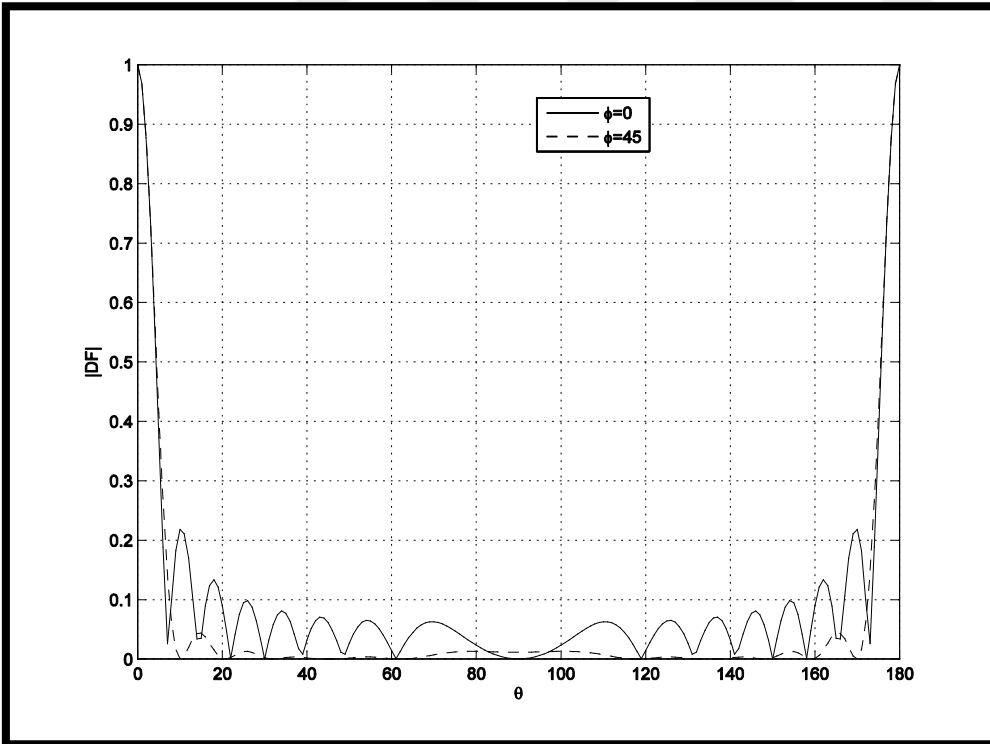
Şekil 4.24. Şekil 4.21'de verilen anten dizisi için 3 boyutlu ışınma örüntüsü

Şekil 4.21'deki düzlemsel anten dizisi için ışınma örüntüleri Şekil 4.22-4.24'de gösterilmektedir. Bu anten dizisi için yarı güç hüzmeye genişliği $\phi = 0$ ve $\phi = 90$ derece düzlemlerinde $\Delta\theta = 6,44^\circ$, $\phi = 45$ derece düzleminde $\Delta\theta = 6,57^\circ$ olarak bulunmuştur. Tepe yan kulakçık düzeyi $TYKD = 0,218 \Rightarrow -13,23$ dB'dir. Anten dizisinin yöneltiliği $D = 391,71$ olarak bulunmuştur. Görüldüğü üzere yöneltilik belirgin biçimde artmış, ana kulakçığın yarı güç hüzmeye genişliği küçülmüştür. Ancak tepe yan kulakçık düzeyinde belirgin bir düşüş olmamıştır.

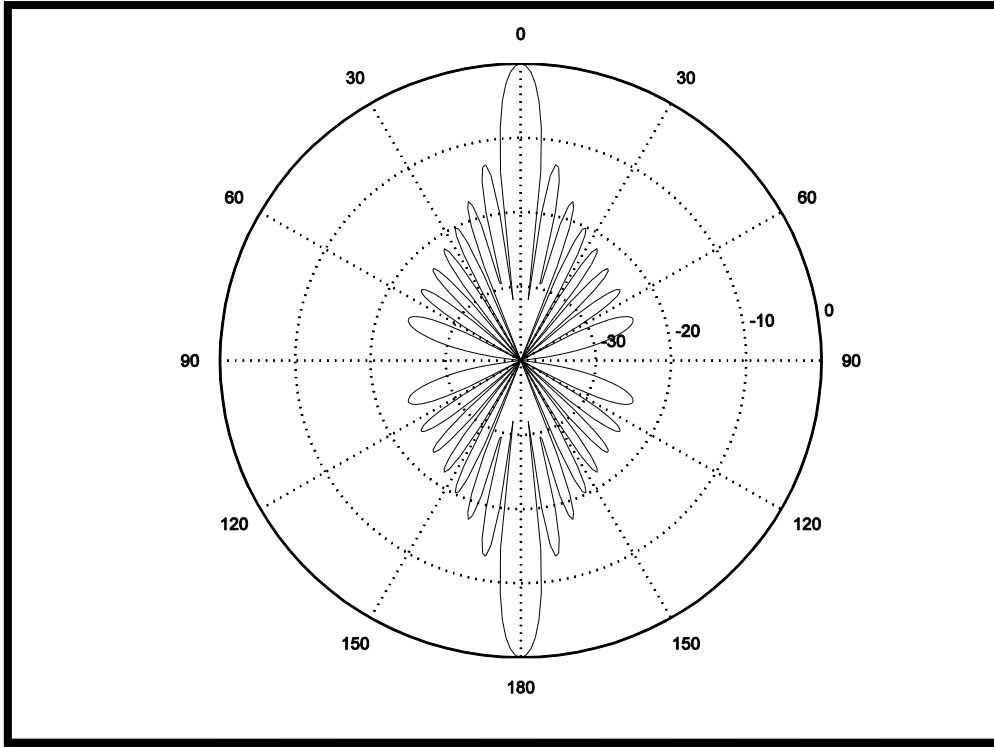
Şekil 4.21'de verilen dizi Şekil 4.25'deki gibi seyreltilebilir.



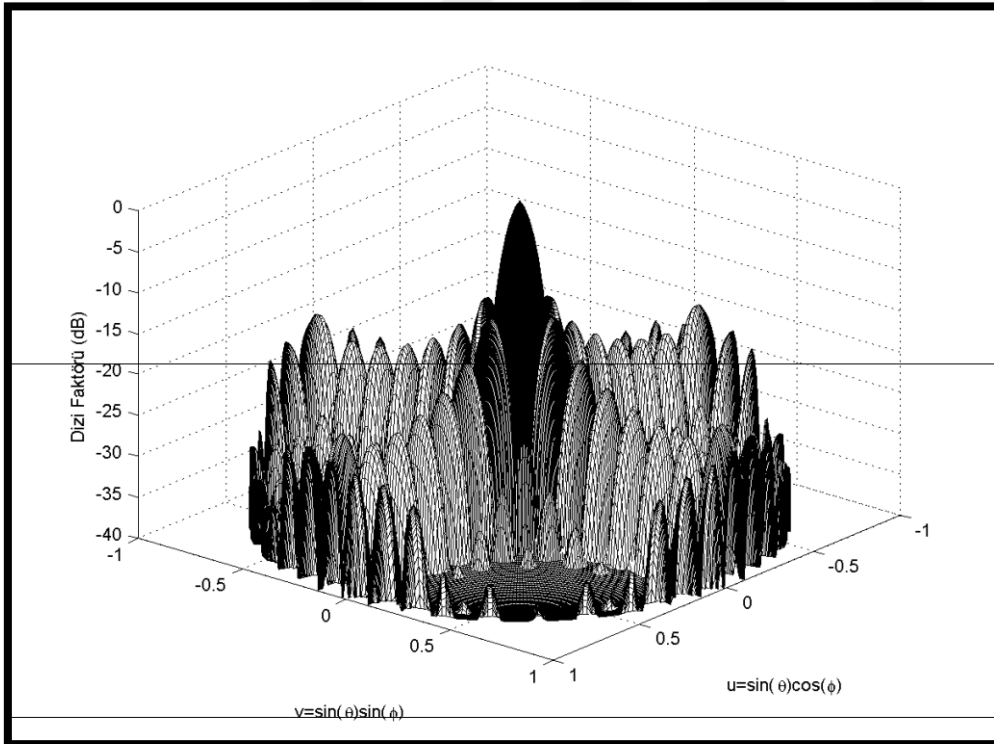
Şekil 4.25. Satranç tahtası şeklinde yerleştirilmiş 128 antenden oluşan düzlemsel anten dizisi



Şekil 4.26. Şekil 4.25'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi = 0$ ve $\phi = 45$ derece için doğrusal gösterim)



Şekil 4.27. Şekil 4.25'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi = 0$ derece için kutupsal gösterim)

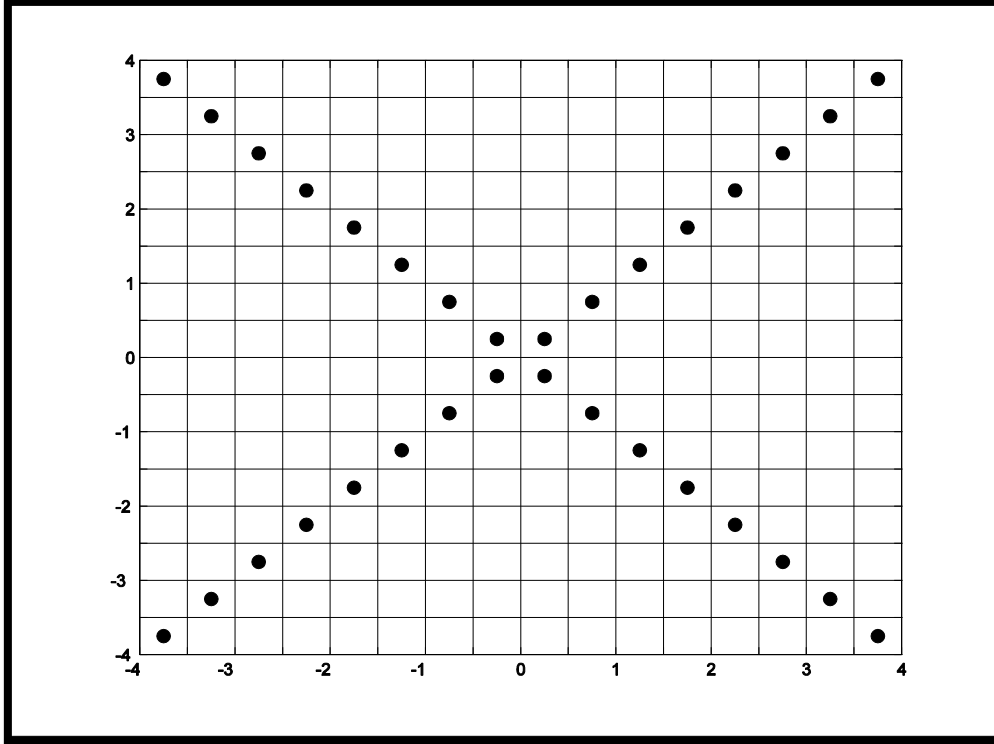


Şekil 4.28. Şekil 4.25'de verilen anten dizisi için 3 boyutlu ışınma örüntüsü

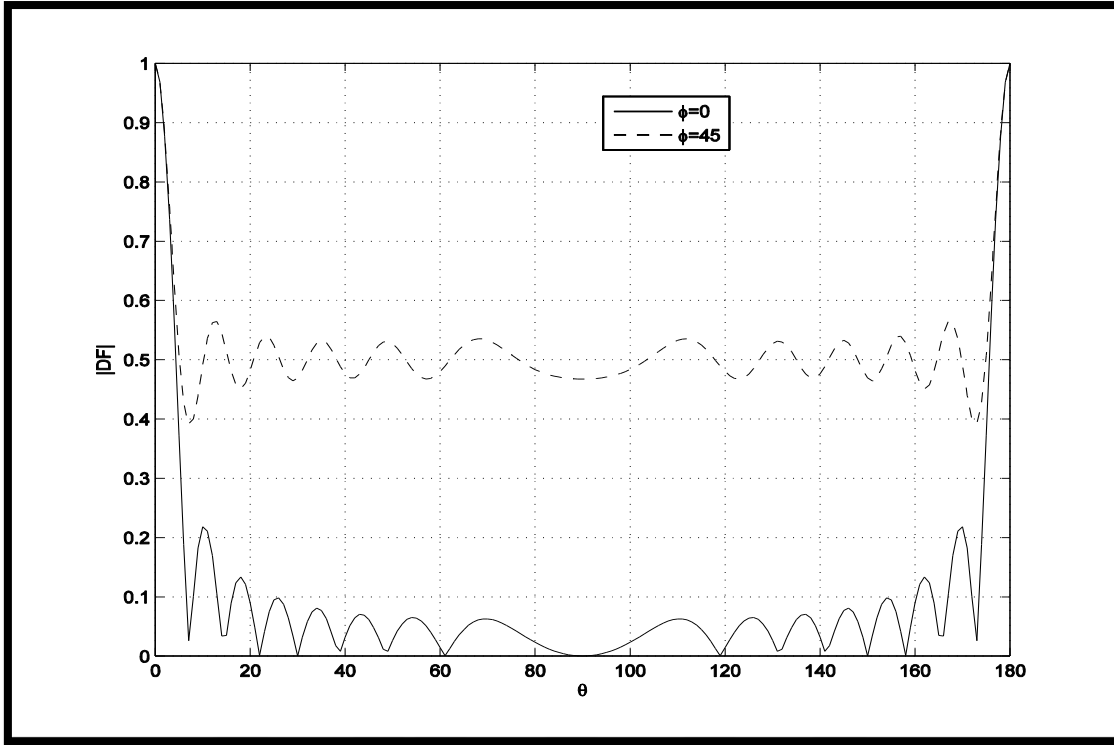
Şekil 4.25'deki düzlemsel anten dizisi için ışınma örüntüleri Şekil 4.26-4.28'de gösterilmektedir. Bu anten dizisi için yarı güç hüzmeye genişliği $\phi = 0$ ve $\phi = 90$ derece düzlemlerinde $\Delta\theta = 6,44^\circ$, $\phi = 45$ derece düzleminde $\Delta\theta = 6,53^\circ$ olarak bulunmuştur. Tepe yan kulakçık düzeyi $TYKD = 0,218 \Rightarrow -13,23$ dB'dir. Anten dizisinin yöneltiliği D

= 353,83 olarak bulunmuştur. Dizideki anten sayısı yarıya düşmesine rağmen anten parametrelerinde belirgin bir değişim gözlenmemiştir.

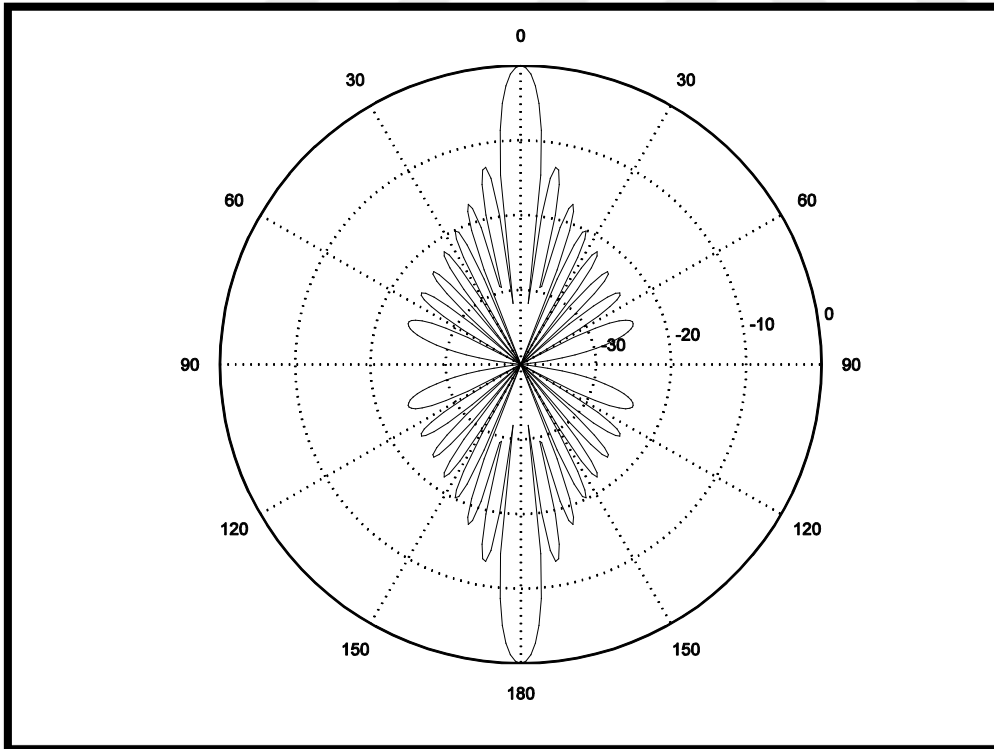
Köşegenler üzerine yerleştirilmiş olan ve 32 antenden oluşan düzlemsel diziye bakalım (Şekil 4.29).



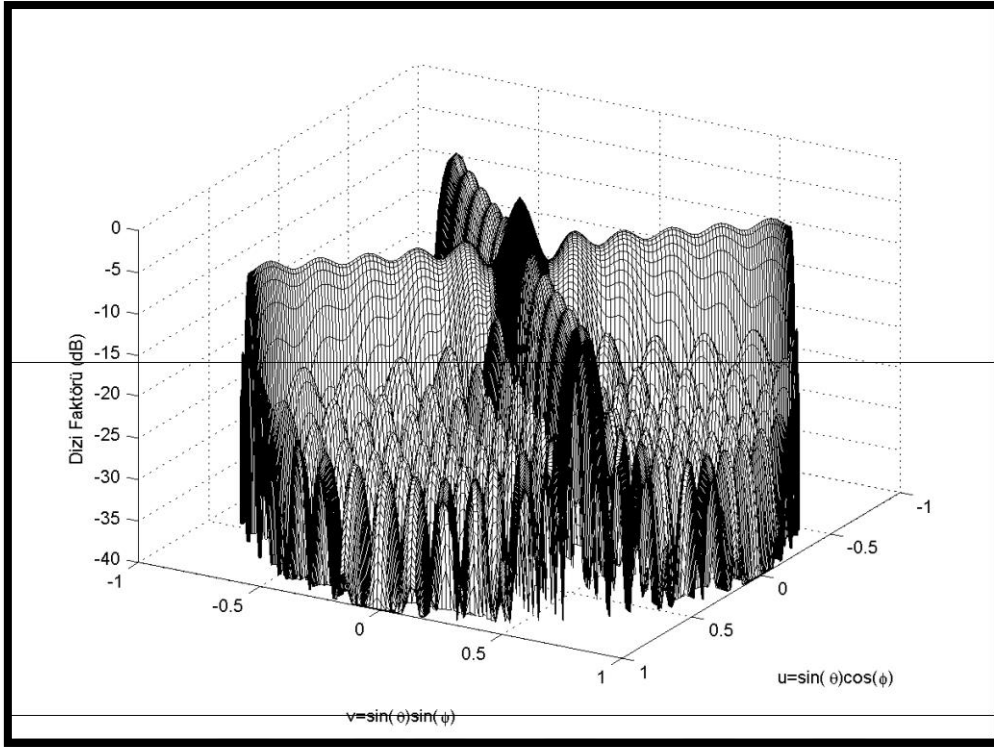
Şekil 4.29. Köşegenler üzerine yerleştirilmiş 16 antenden oluşan düzlemsel anten dizisi



Şekil 4.30. Şekil 4.29'da verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi = 0$ ve $\phi = 45$ derece için doğrusal gösterim)



Şekil 4.31. Şekil 4.29'da verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi = 0$ derece için kutupsal gösterim)



Şekil 4.32. Şekil 4.29'da verilen anten dizisi için 3 boyutlu ışınma örüntüsü

Şekil 4.29'daki düzlemsel anten dizisi için ışınma örüntüleri Şekil 4.30-4.32'de gösterilmektedir. Bu anten dizisi için yarı güç hüzme genişliği $\phi = 0$ ve $\phi = 90$ derece düzlemlerinde $\Delta\theta = 6,44^\circ$, $\phi = 45$ derece düzleminde $\Delta\theta = 6,87^\circ$ olarak bulunmuştur. Tepe yan kulakçık düzeyi $TYKD = 0,565 \Rightarrow -4,97$ dB'dir. Anten dizisinin yönelticiliği $D = 43,65$ olarak bulunmuştur. Görüldüğü üzere, tepe yan kulakçık düzeyi artmış ve yönelticilik belirgin bir biçimde azalmıştır.



5. HADAMARD FARK KÜMELERİ İLE SENTEZLENMİŞ KARESEL ANTENLER

Önceki bölümdeki sonuçlara göre, en iyi anten dizisi parametreleri karesel anten dizisinde anten sayısının yarıya düşürülmesi durumunda elde edilmektedir. Anten sayısının daha da azaltılması durumunda istenildiği kadar iyi sonuçlar elde edilememektedir. Anten dizisi parametrelerinin belirgin şekilde kötüleşmesine yol açmayan daha güçlü seyreltme yöntemleri söz konusudur. Bu yöntemlerden bir tanesi fark kümelerine dayanan yaklaşımdır. Fark kümelerinden bir tanesinin varlığı daha geniş bir fark kümeleri seti tanımlar. Bu kümeler arasından yan kulakçık düzeyini minimize eden küme seçilebilir [2-5].

Periyodik olmayan iki boyutlu anten dizilerinin sentezi için en uygun fark kümelerinden bir tanesi Hadamard fark kümeleridir. Hadamard fark kümeleri sadece belirli büyüklükteki tamsayı ızgaralar üzerinde inşa edilebilmektedir. Her bir durumda bu tür kümelerin birbirine eşdeğer olmayan farklı sayıda versiyonları bulunmaktadır. Bu versiyonlar kullanılarak eşdeğer Hadamard fark kümeleri topluluğu elde edilebilmektedir. Bu topluluğun içinden en düşük yan kulakçık düzeyini veren küme seçilmekte, böylece en düşük yan kulakçık düzeyine sahip anten dizisi yerleşimi elde edilmektedir. 4 x 4 ve 6 x 6 boyutlu anten dizisinde 3 çeşit, 8 x 8 anten dizisinde 4 çeşit, 16 x 16 anten dizisinde 3 çeşit eşdeğer olmayan Hadamard fark kümesi inşa edilebilir [3,4].

$v_x \times v_y$ boyutlu dizide K elemandan oluşan $\{x_j, y_j\}$ kümesi

$$\left| \sum_{j=1}^k \exp[i(x_j q_{xl} + y_j q_{ym})] \right|^2 = k - \Lambda \quad (5.1)$$

eşitliğinin sağlanması durumunda fark kümesi olarak adlandırılır. Burada

$$q_{xl} = 2\pi l/v_x,$$

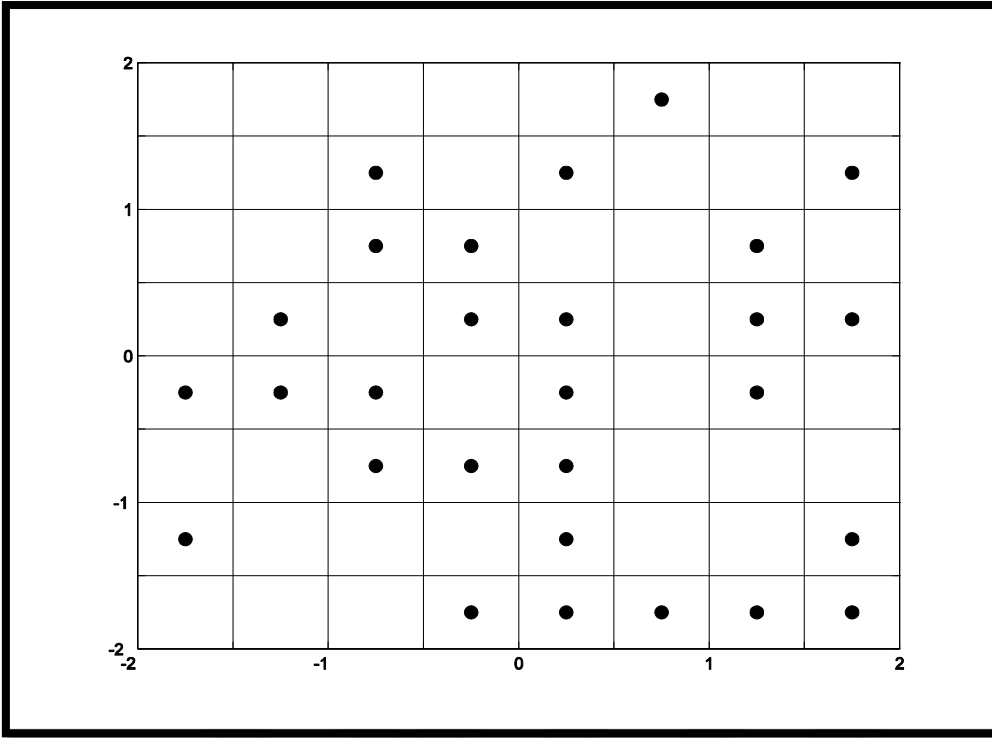
$$q_{ym} = 2\pi m/v_y$$

$$(l = 0, 1, \dots, v_x - 1; m = 0, 1, \dots, v_y - 1; (l + m > 0))$$

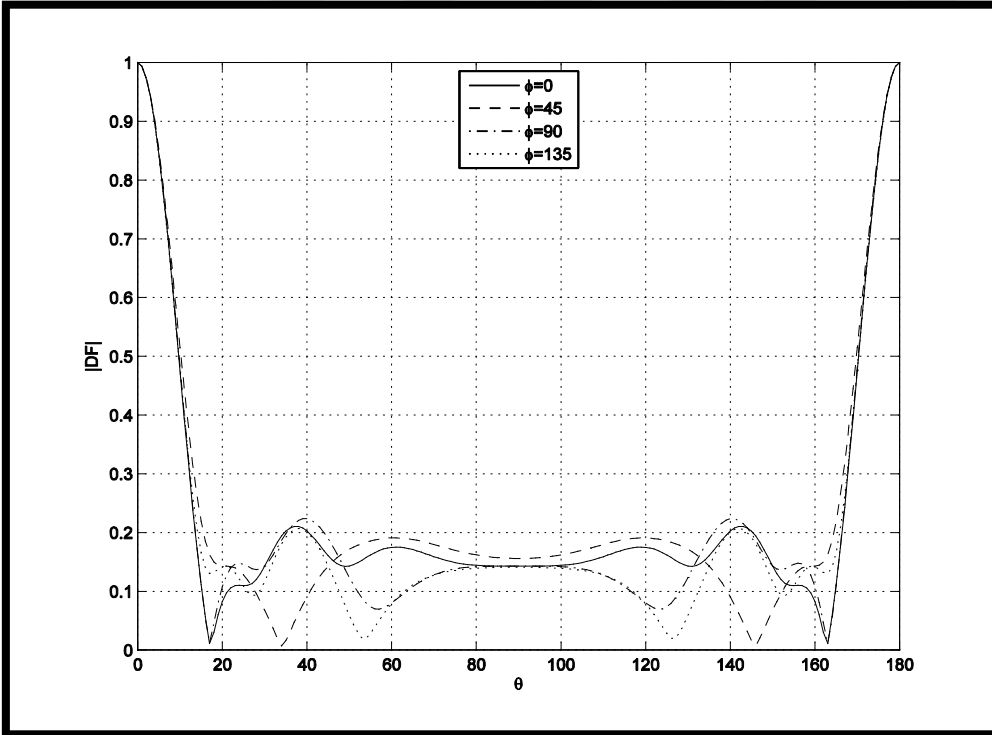
eşitlikleri sağlanır. Λ değeri $k(k-1) = \Lambda(v_x v_y - 1)$ formülünden hesaplanır. Eşitliğin sol tarafı dizi faktörünü vermektedir. Hadamard fark kümesindeki +1 değeri söz konusu ızgara noktasındaki antenin aktif olarak kullanıldığını, -1 değeri ise antenin kullanılmadığını veya 0 noktada anten bulunmadığını gösterir [5].

5.1 8x8 Boyutlu Anten Dizileri

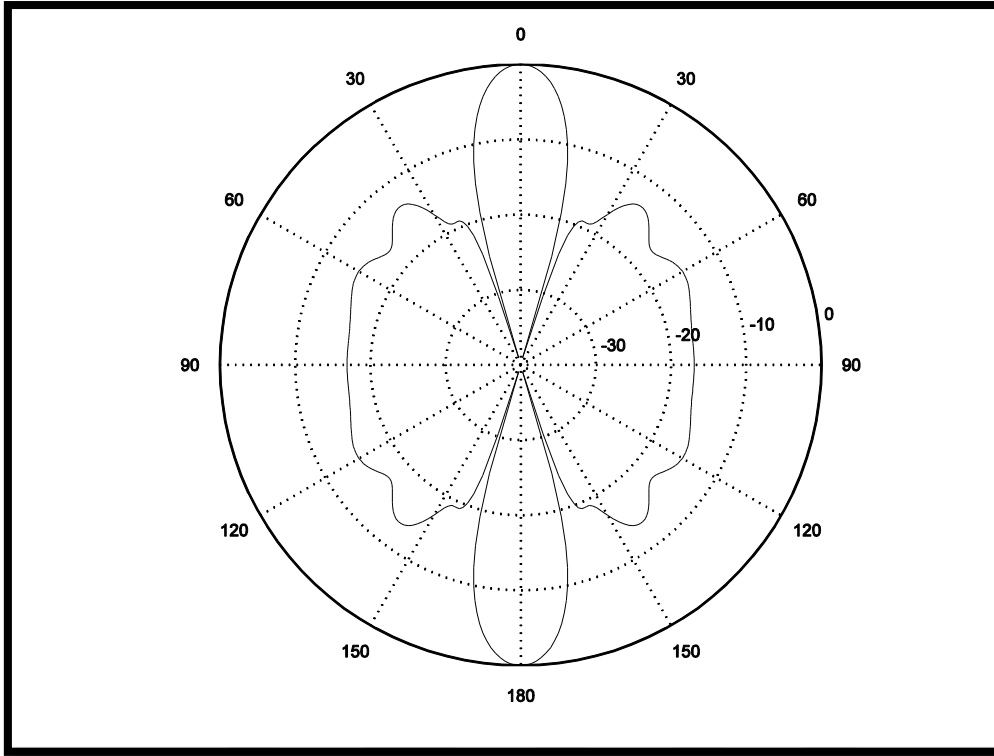
Hadamard fark kümeleri kullanılarak elde edilmiş olan ve 8 x 8 ızgara üzerine yerleştirilmiş olan 28 elemanlı bir düzlemsel dizi aşağıda verilmektedir [4].



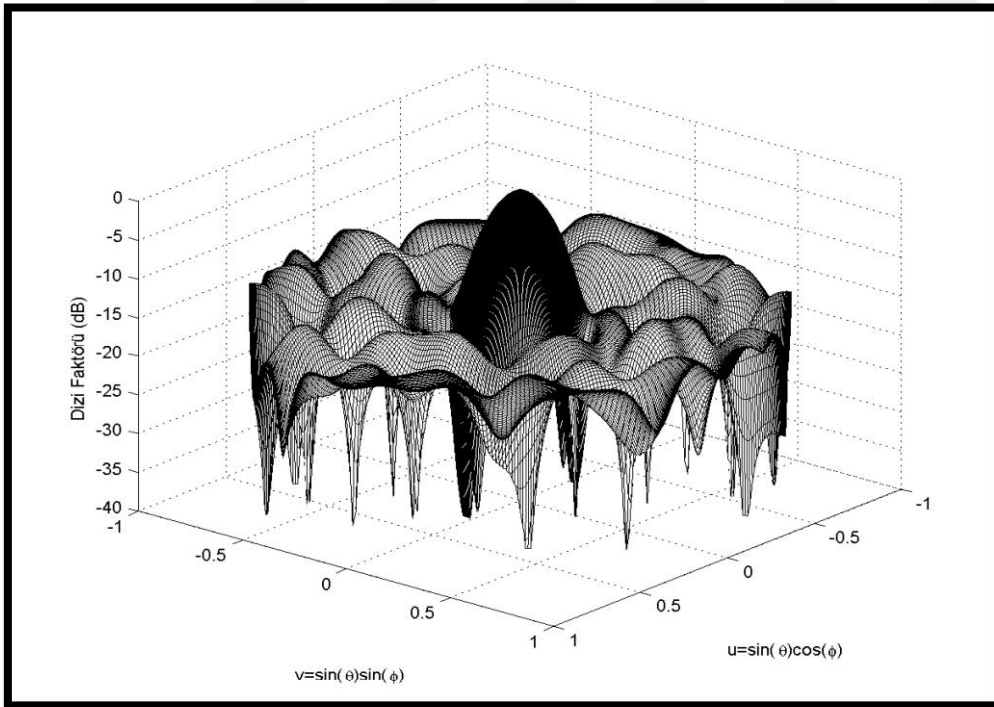
Şekil 5.1. 8x8 ızgara üzerinde Hadamard fark kümeleri kullanılarak elde edilen 28 elemanlı düzlemsel anten dizisi [4]



Şekil 5.2. Şekil 5.1'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi = 0$, $\phi = 45$, $\phi = 90$ ve $\phi = 135$ derece için doğrusal gösterim)



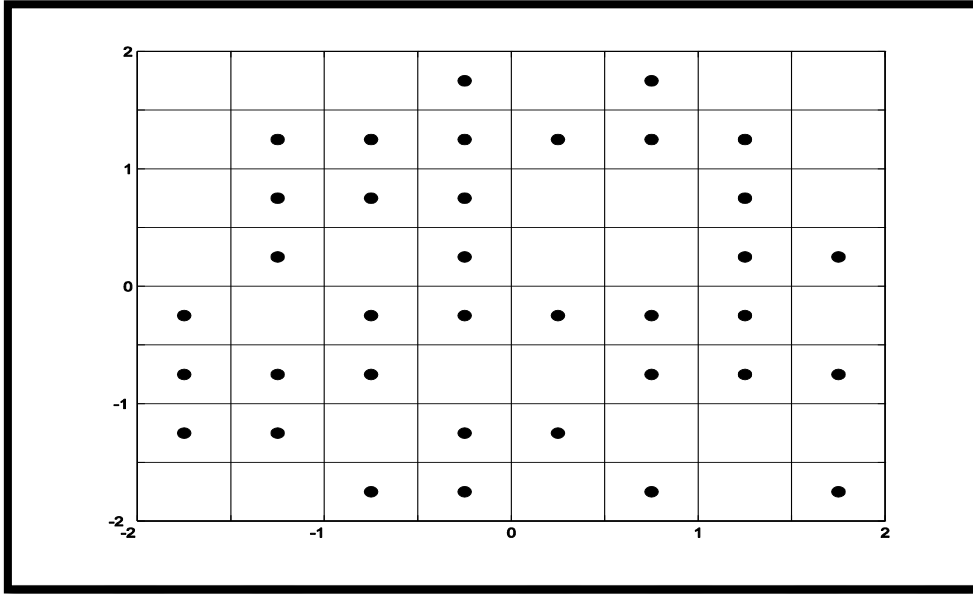
Şekil 5.3. Şekil 5.1'te verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi=0$ derece için kutupsal gösterim)



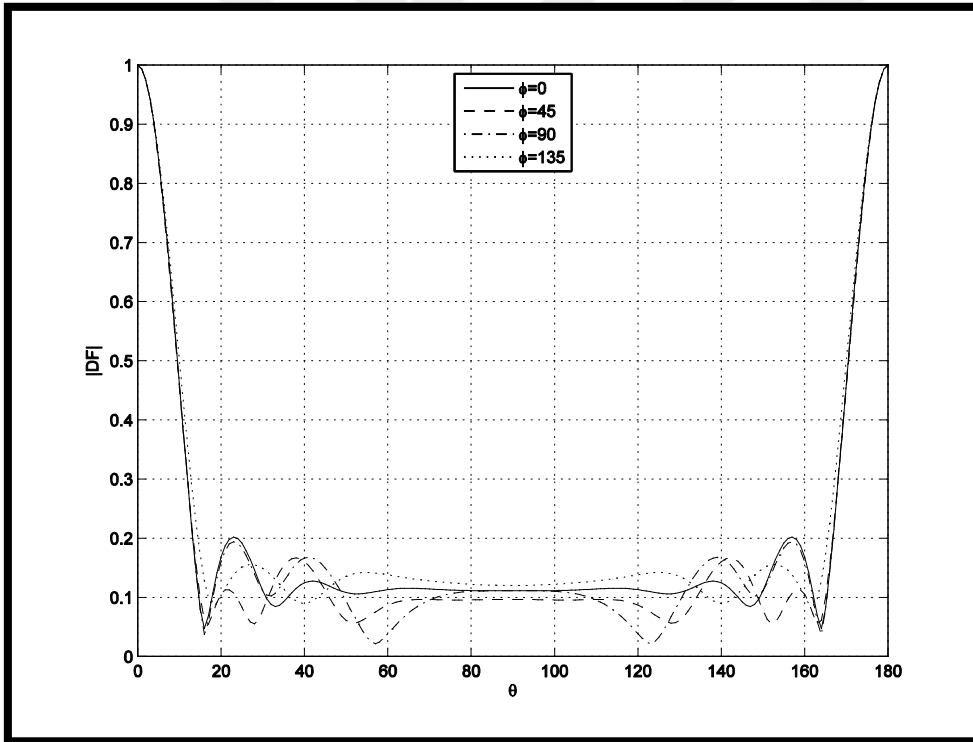
Şekil 5.4. Şekil 5.1'de verilen anten dizisi için 3 boyutlu ışınma örüntüsü

Şekil 5.1'deki düzlemsel anten dizisi için ışınma örüntüleri Şekil 5.3-5.4'te gösterilmektedir.

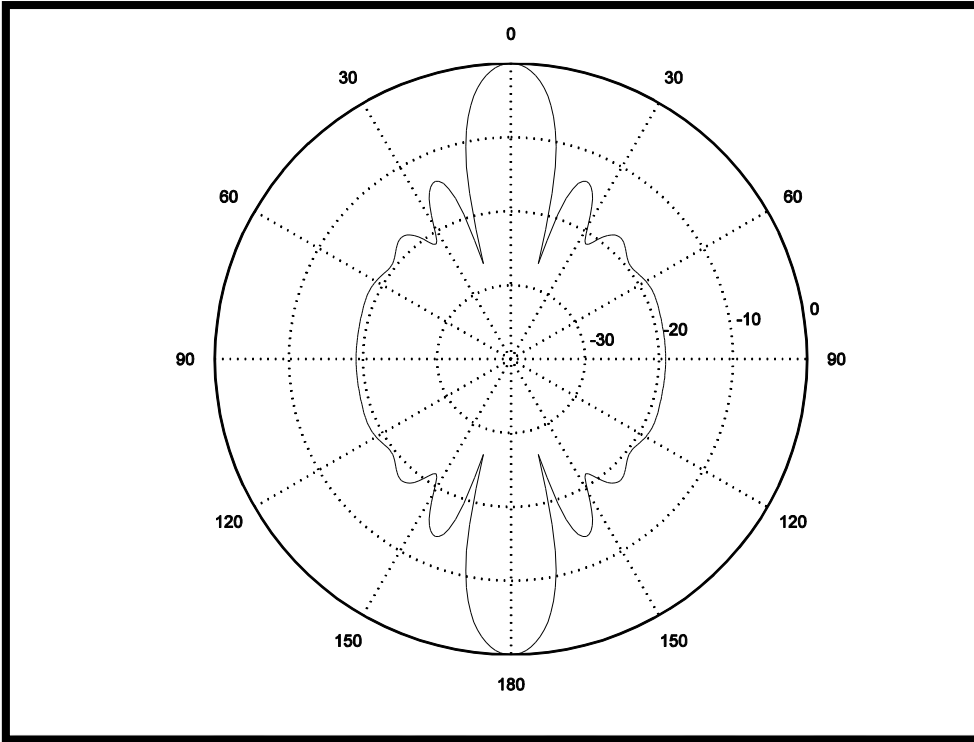
Hadamard fark kümeleri kullanılarak elde edilmiş olan ve 8×8 ızgara üzerine yerleştirilmiş olan 36 elemanlı bir düzlemsel dizi aşağıda verilmektedir [4].



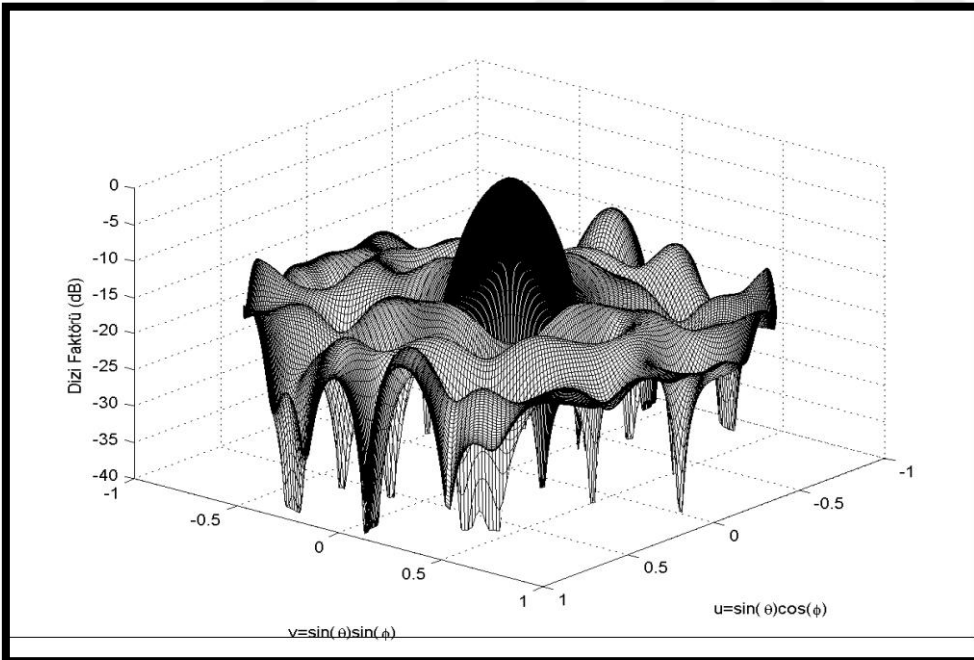
Şekil 5.5. Hadamard fark kümeleri kullanılarak elde edilen 36 elemanlı anten dizisi [4]



Şekil 5.6. Şekil 5.5'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi = 0$, $\phi = 45$, $\phi = 90$ ve $\phi = 135$ derece için doğrusal gösterim)



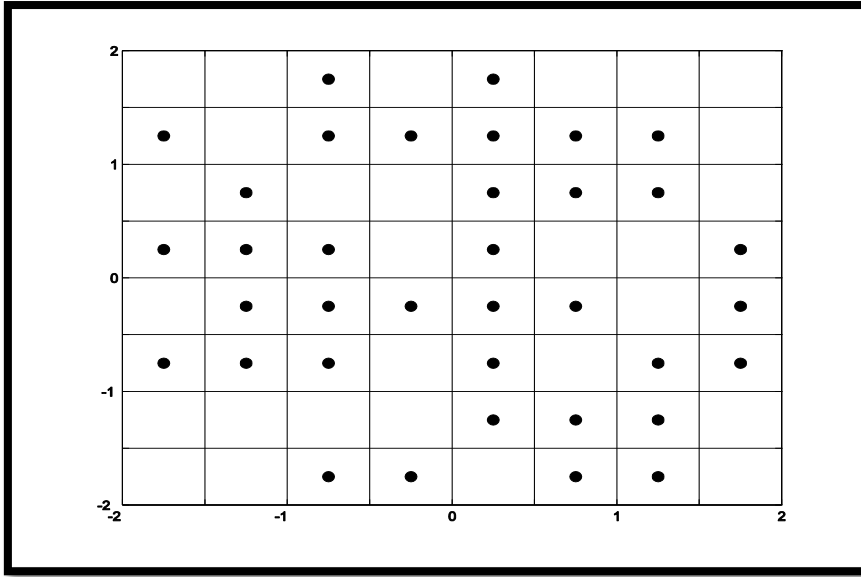
Şekil 5.7. Şekil 5.5'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi = 0$ derece için kutupsal gösterim)



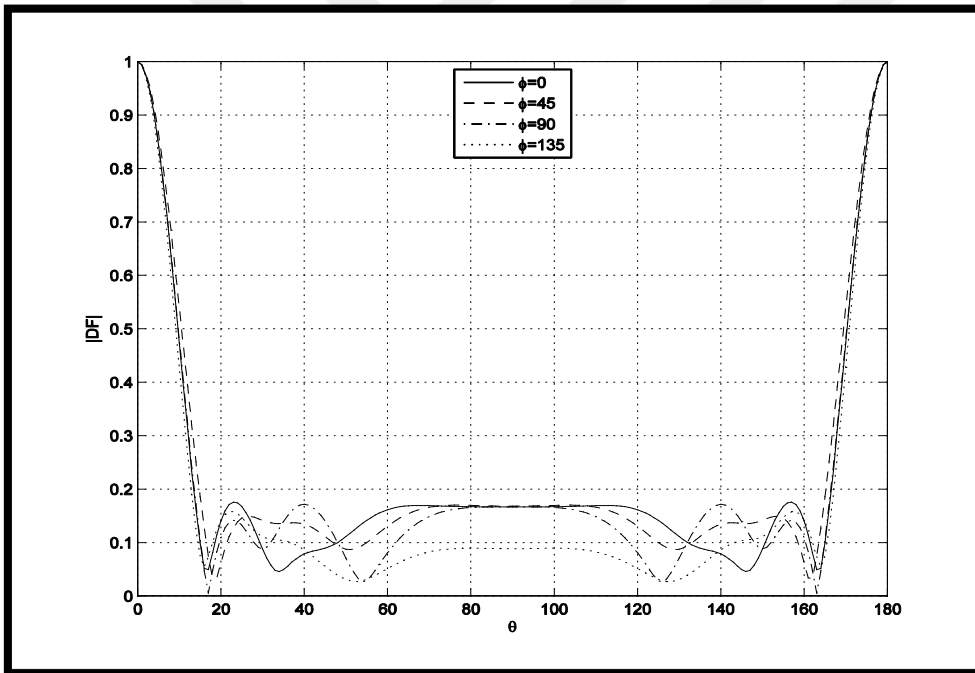
Şekil 5.8. Şekil 5.5'de verilen anten dizisi için 3 boyutlu ışınma örüntüsü

Şekil 5.5'teki düzlemsel anten dizisi için ışınma örüntüleri Şekil 5.6-5.8'de gösterilmektedir.

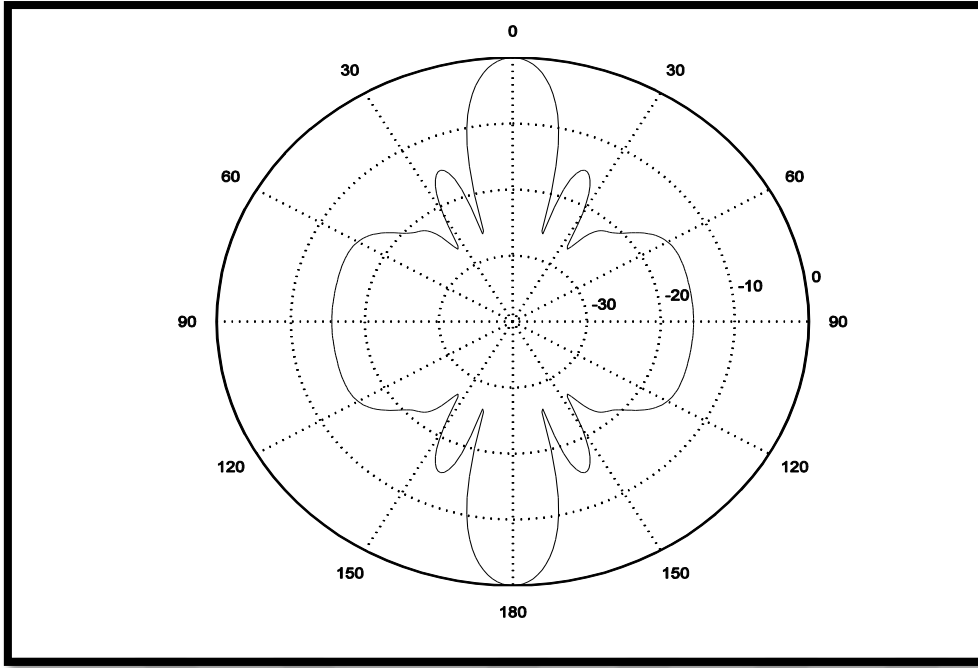
Hadamard fark kümeleri kullanılarak elde edilmiş olan ve 8×8 ızgara üzerine yerleştirilmiş olan 36 elemanlı bir başka düzlemsel dizi aşağıda verilmektedir [4].



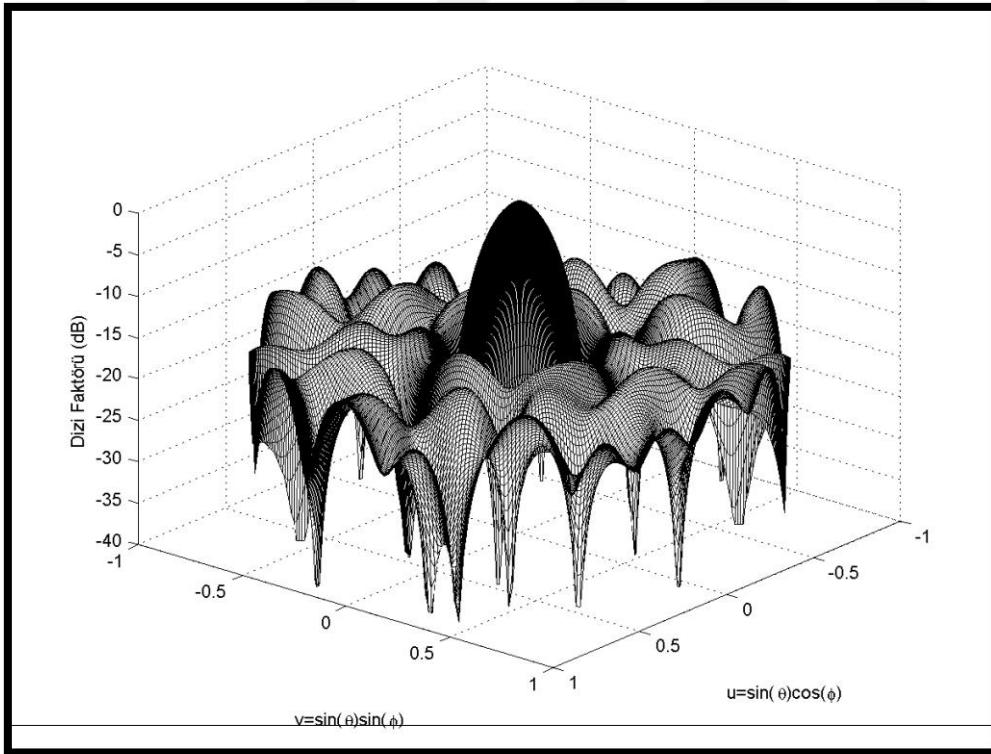
Şekil 5.9. 8x8 ızgara üzerinde Hadamard fark kümeleri kullanılarak elde edilen 36 elemanlı düzlemsel anten dizisi [4]



Şekil 5.10. Şekil 5.9'da verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi = 0$, $\phi = 45$, $\phi = 90$ ve $\phi = 135$ derece için doğrusal gösterim)



Şekil 5.11 Şekil 5.9'da verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi = 0$ derece için kutupsal gösterim)



Şekil 5.12. Şekil 5.9'da verilen anten dizisi için 3 boyutlu ışınma örüntüsü

Şekil 5.9'daki düzlemsel anten dizisi için ışınma örüntüleri Şekil 5.10-5.12'de gösterilmektedir.

Şekil 5.1, Şekil 5.5 ve Şekil 5.9'da verilen düzlemsel anten dizileri için elde edilen anten parametreleri Çizelge 5.1'de gösterilmiştir.

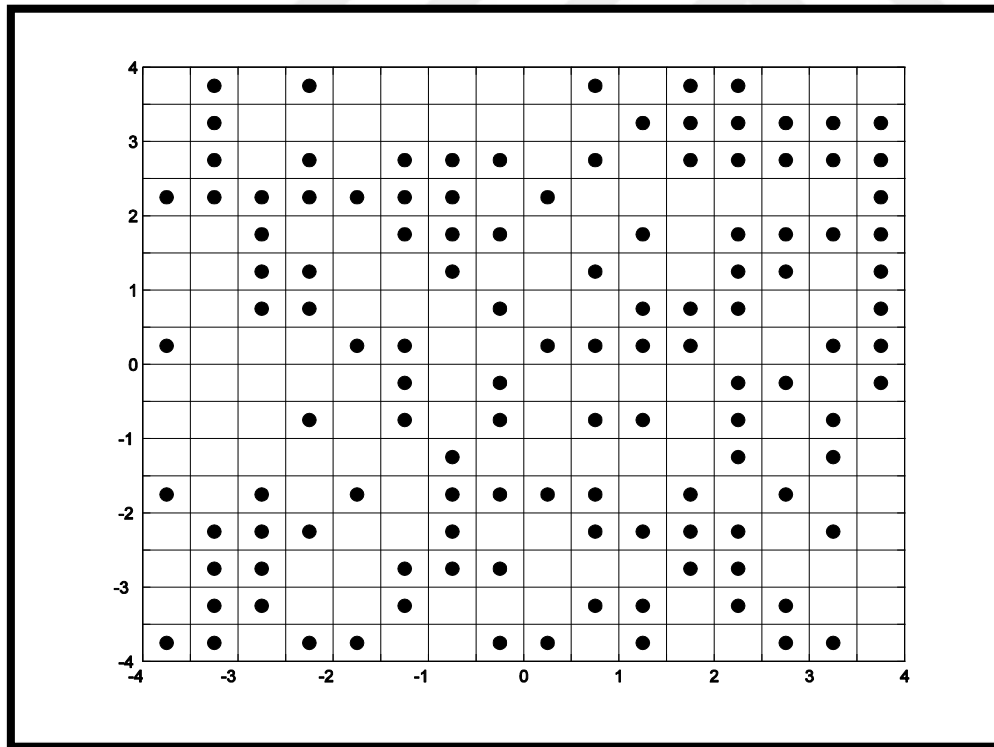
Çizelge 5.1. Şekil 5.1, Şekil 5.5 ve Şekil 5.9 için elde edilen anten parametreleri

	Şekil 5.1	Şekil 5.5	Şekil 5.9
Yarı güç hüzmeye genişliği ($\phi=0^\circ$)	14,28°	14,12°	14,32°
Yarı güç hüzmeye genişliği ($\phi=45^\circ$)	14,82°	13,92°	15,55°
Yarı güç hüzmeye genişliği ($\phi=90^\circ$)	14,46°	14,15°	14,43°
Yarı güç hüzmeye genişliği ($\phi=135^\circ$)	14,21°	14,63°	13,50°
Tepe yan kulakçık düzeyi	0,235	0,202	0,188
Tepe yan kulakçık düzeyi (dB)	-12,59	-13,88	-14,51
Yönelticilik	31,74	45,27	44,49

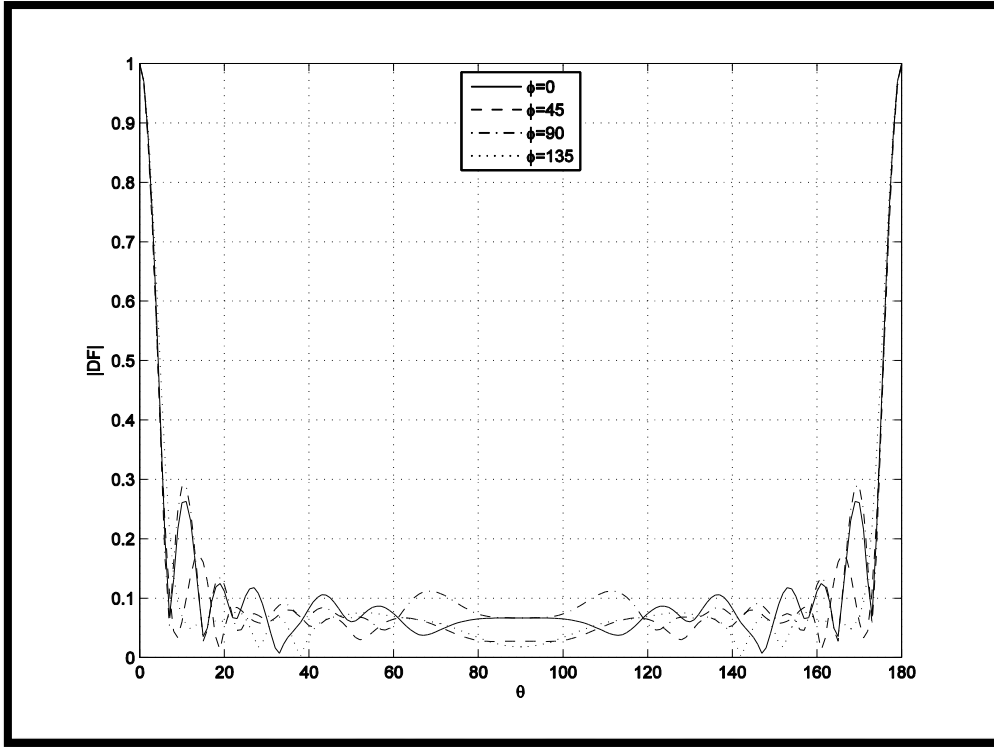
Çizelge 5.1 incelendiğinde, ele alınan üç farklı anten dizisi için yarı güç hüzmeye genişliklerinin yaklaşık birbirine eşit olduğu, tepe yan kulakçık düzeyleri arasında belirgin fark olduğu, Şekil 5.5 ve Şekil 5.9'da verilen 36 elemanlı anten dizileri için yönelticiliklerin Şekil 5.1'de verilen 28 elemanlı anten dizisine oranla daha yüksek olduğu görülmektedir.

5.2. 16 x 16 Boyutlu Anten Dizileri

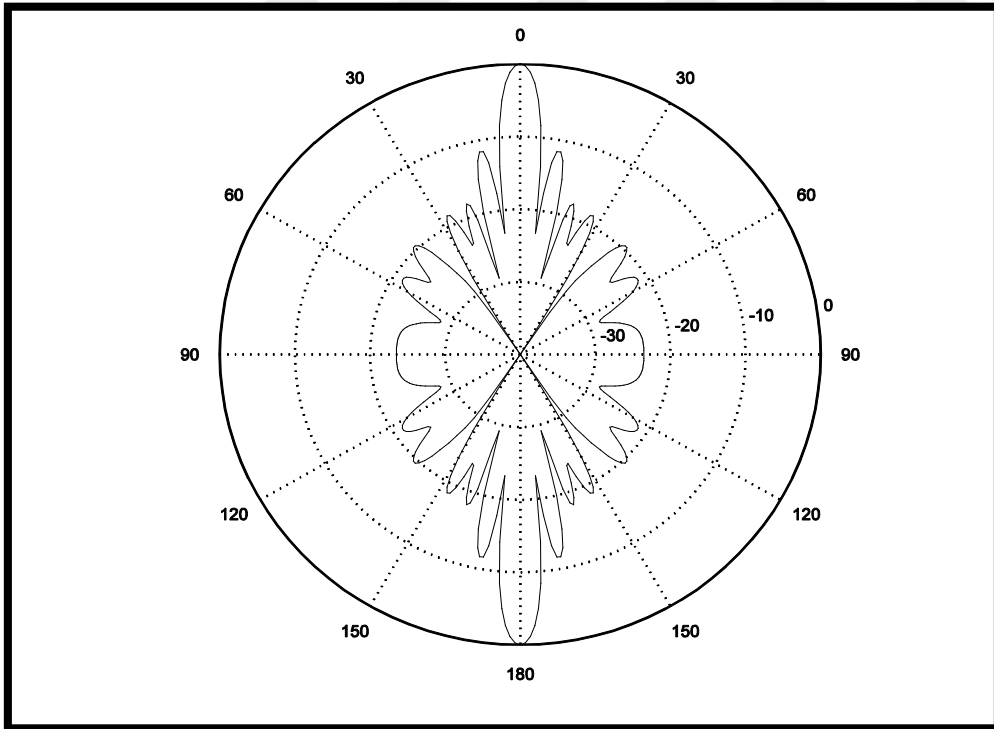
Hadamard fark kümelerinin kullanılmasıyla elde edilmiş olan ve 16 x 16 ızgara üzerine yerleştirilmiş olan 120 elemanlı bir düzlemsel dizi aşağıda verilmektedir [5].



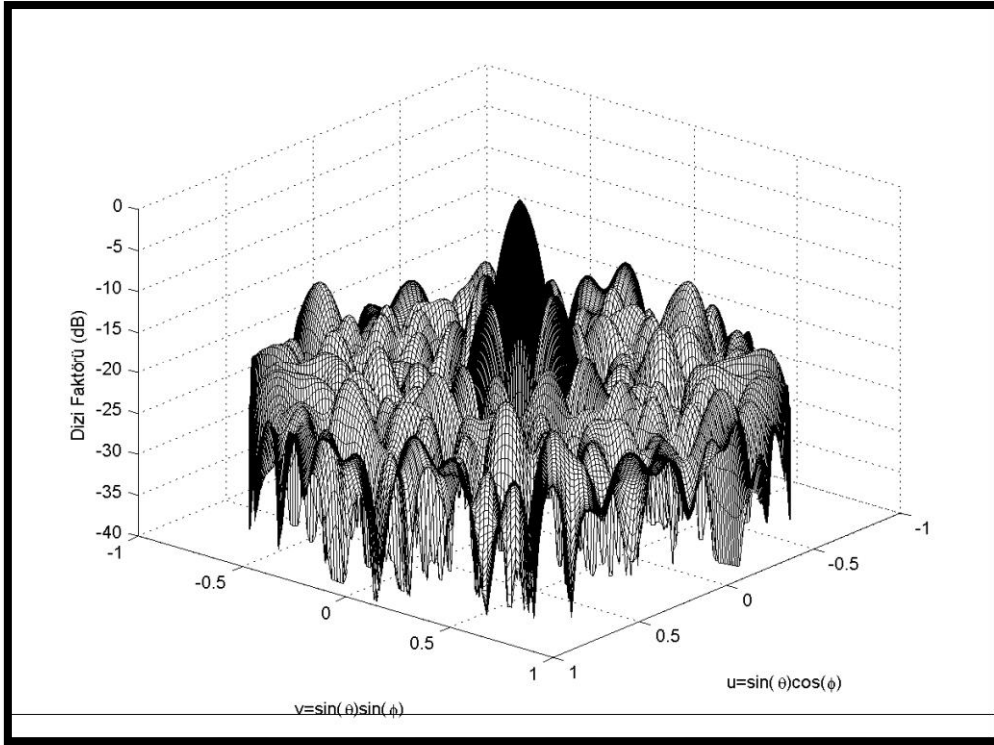
Şekil 5.13. 16 x 16 ızgara üzerinde Hadamard fark kümeleri kullanılarak elde edilen 120 elemanlı düzlemsel anten dizisi [5].



Şekil 5.14. Şekil 5.13'te verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi = 0$, $\phi = 45$, $\phi = 90$ ve $\phi = 135$ derece için doğrusal gösterim)



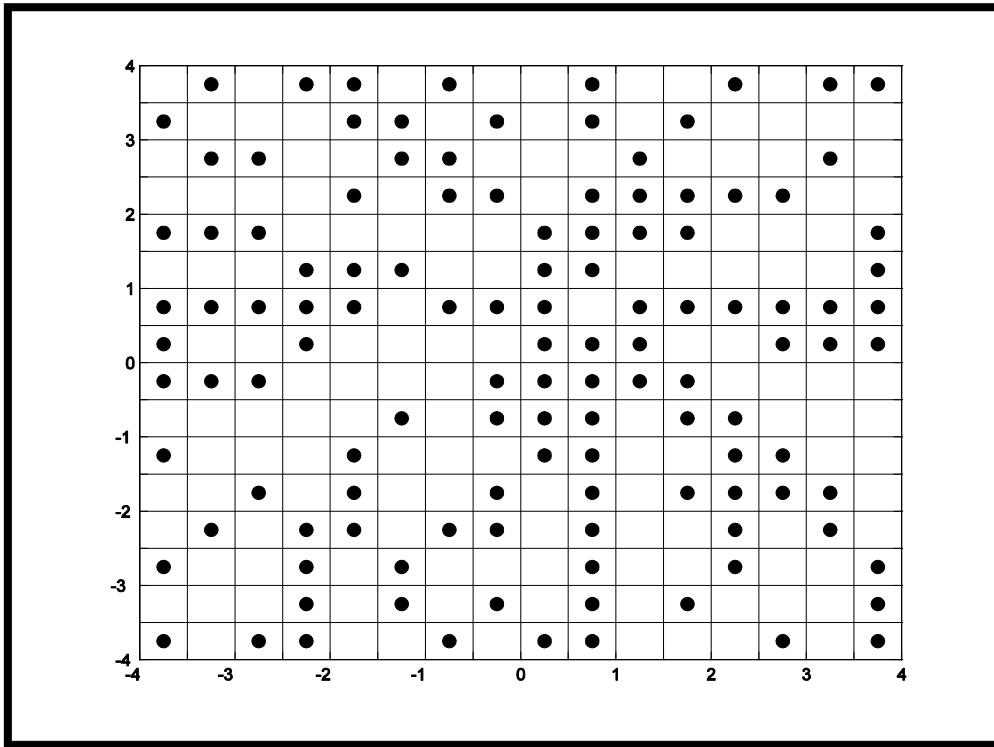
Şekil 5.15. Şekil 5.13'te verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi = 0$ derece için kutupsal gösterim)



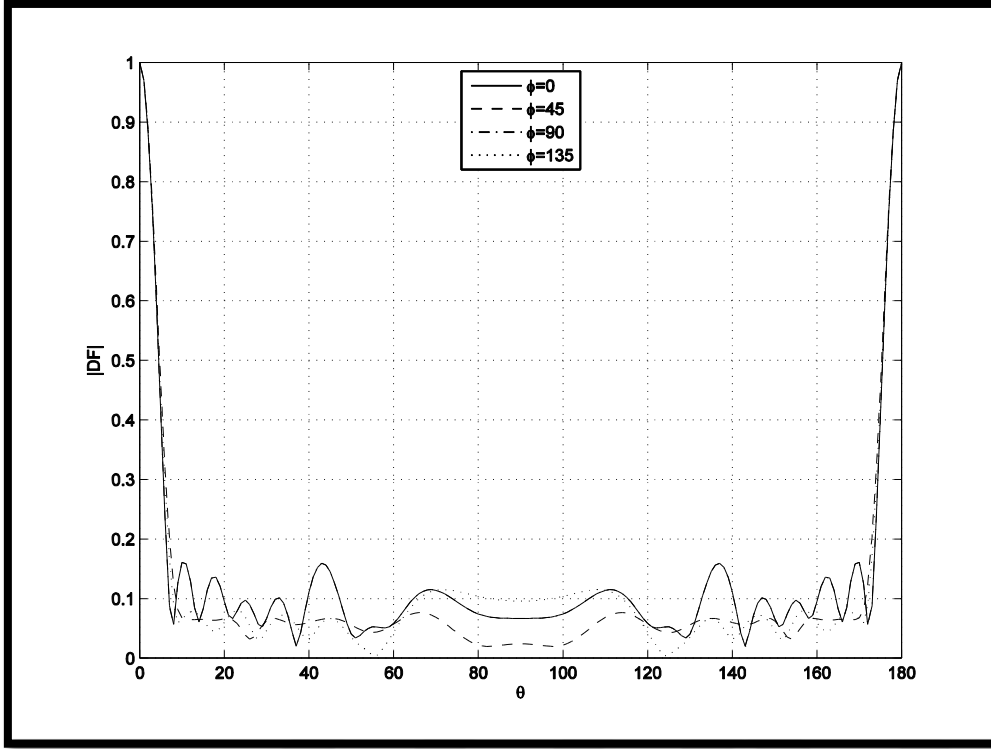
Şekil 5.16. Şekil 5.13'te verilen anten dizisi için 3 boyutlu ışınma örüntüsü

Şekil 5.13'teki düzlemsel anten dizisi için ışınma örüntüleri Şekil 5.14-5.16'da gösterilmektedir.

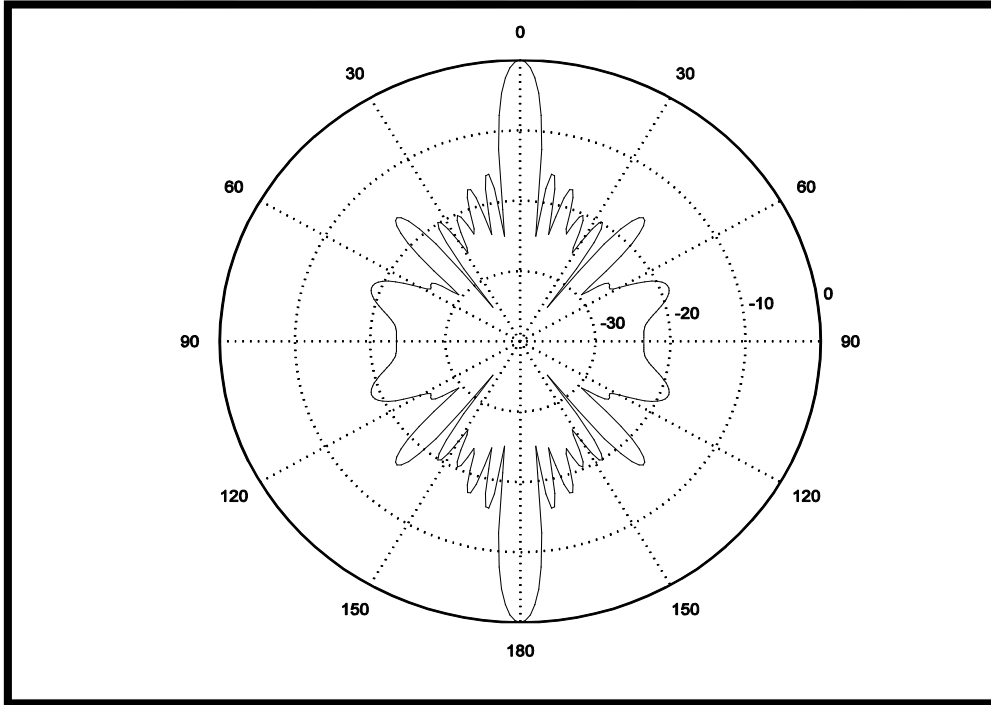
Hadamard fark kümeleri kullanılarak elde edilmiş olan ve 16×16 ızgara üzerine yerleştirilmiş olan 120 elemanlı bir başka düzlemsel dizi aşağıda verilmektedir [3].



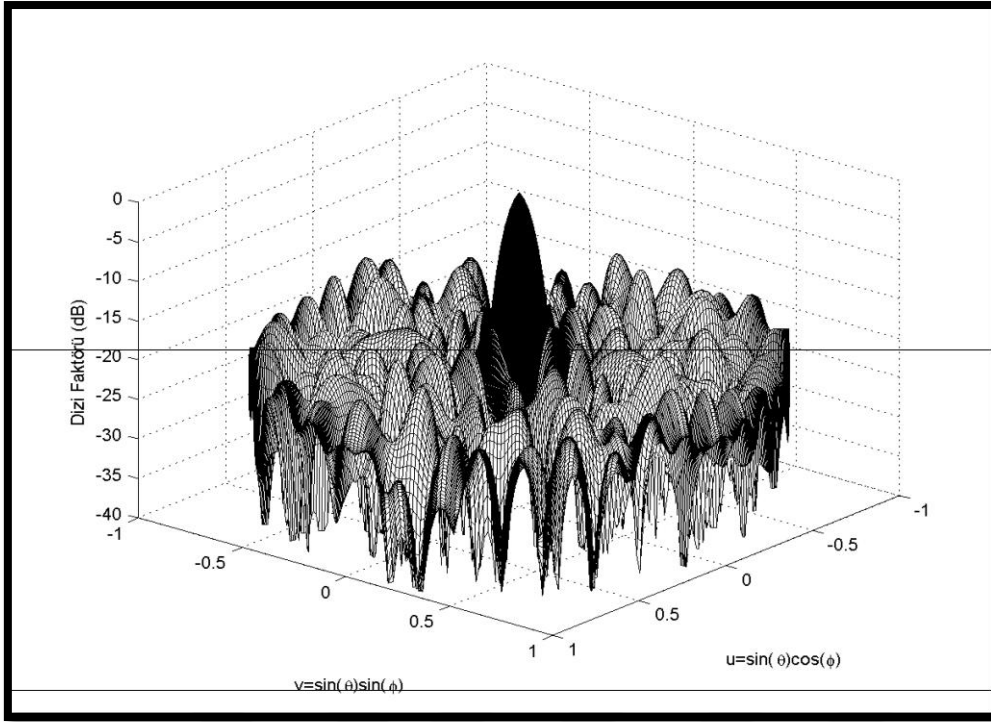
Şekil 5.17. 16 x 16 ızgara üzerinde Hadamard fark kümeleri kullanılarak elde edilen 120 elemanlı düzlemsel anten dizisi [3]



Şekil 5.18. Şekil 5.17'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi = 0$, $\phi = 45$, $\phi = 90$ ve $\phi = 135$ derece için doğrusal gösterim)



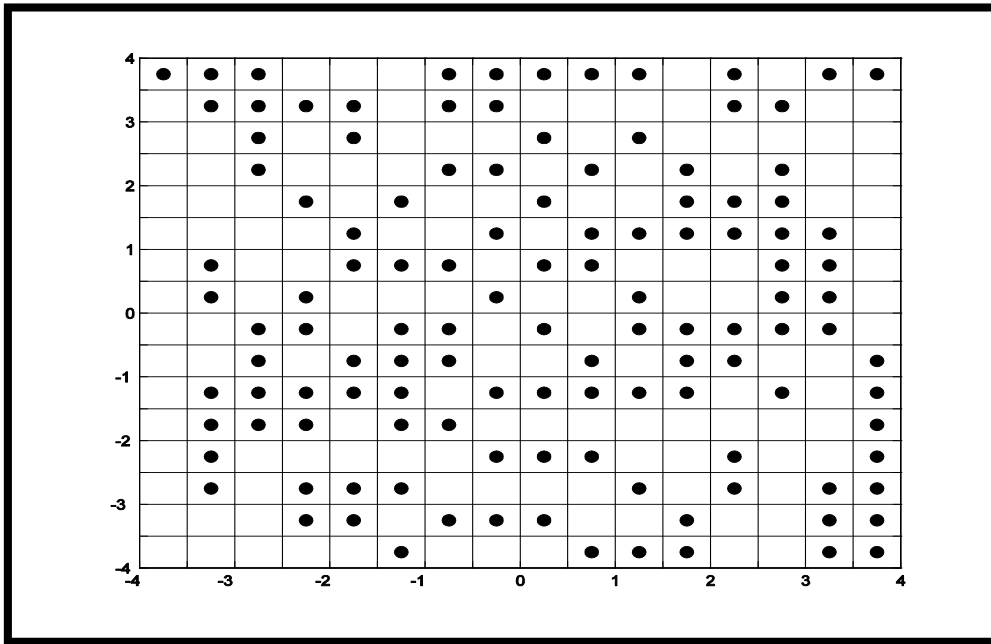
Şekil 5.19. Şekil 5.17'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi = 0$ derece için kutupsal gösterim)



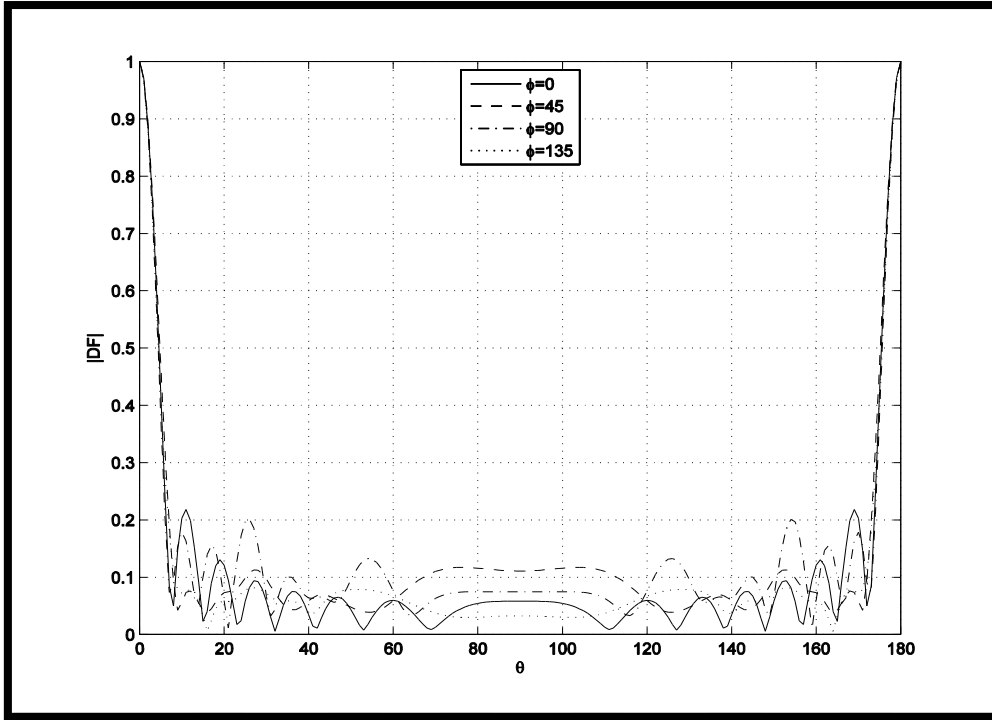
Şekil 5.20. Şekil 5.17'de verilen anten dizisi için 3 boyutlu ışınma örüntüsü

Şekil 5.17'deki düzlemsel anten dizisi için ışınma örüntüleri Şekil 5.18-5.20'de gösterilmektedir.

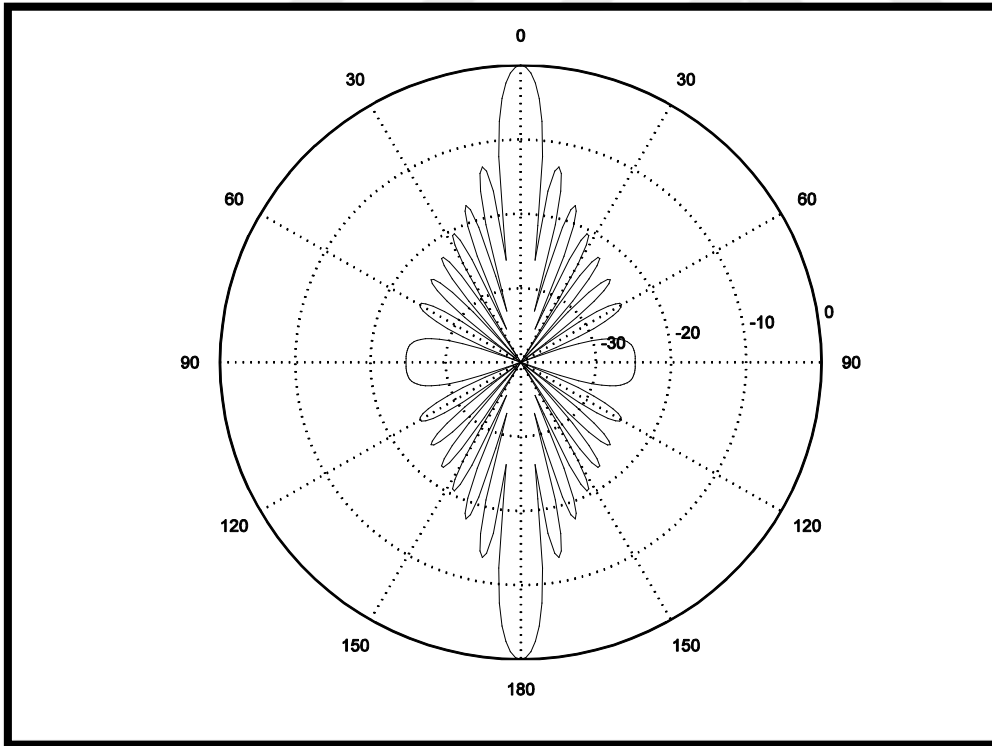
Hadamard fark kümeleri kullanılarak elde edilmiş olan ve 16×16 ızgara üzerine yerleştirilmiş olan 121 elemanlı bir düzlemsel dizi aşağıda verilmektedir [5].



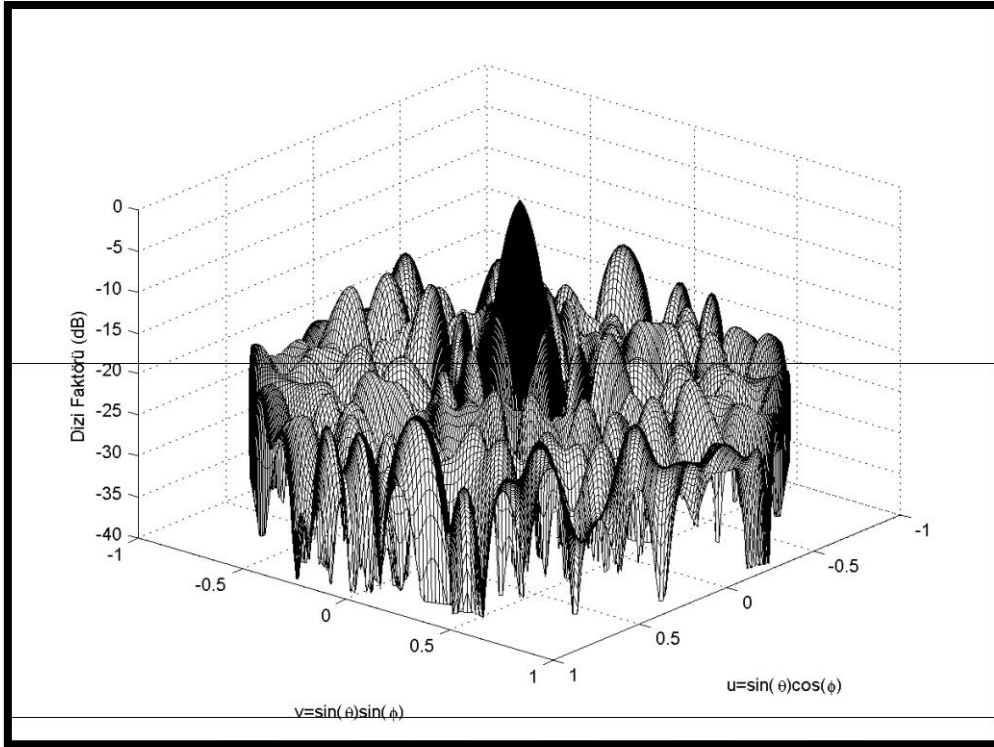
Şekil 5.21. 16×16 ızgara üzerinde Hadamard fark kümeleri kullanılarak elde edilen 121 elemanlı düzlemsel anten dizisi [5]



Şekil 5.22. Şekil 5.21'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi = 0$, $\phi = 45$, $\phi = 90$ ve $\phi = 135$ derece için doğrusal gösterim)



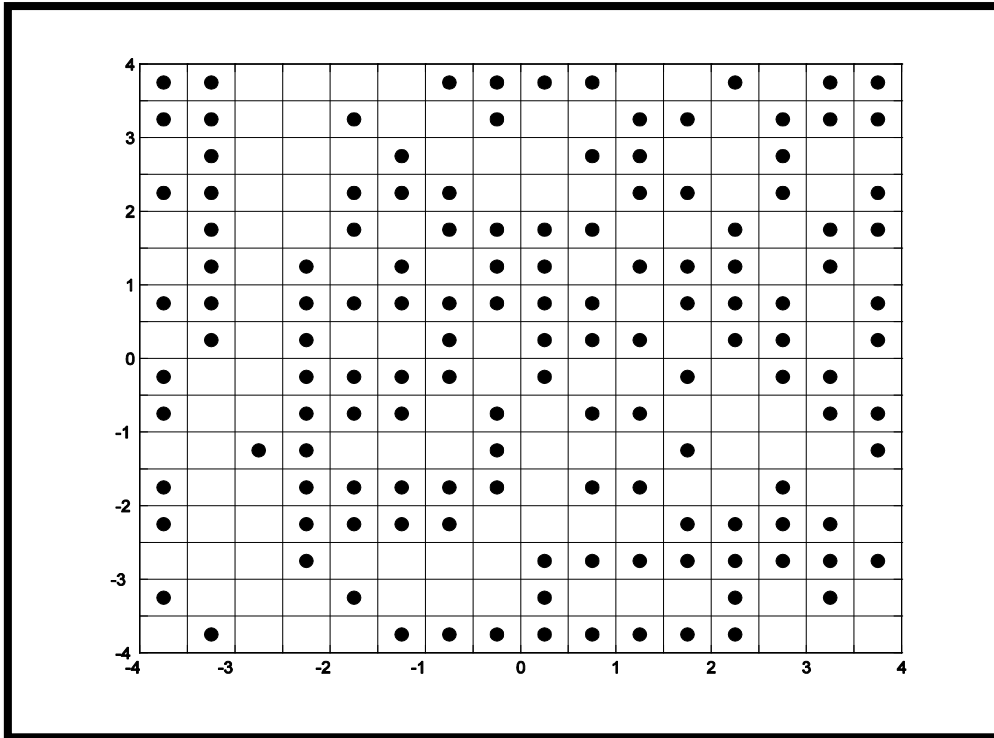
Şekil 5.23. Şekil 5.21'de verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi = 0$ derece için kutupsal gösterim)



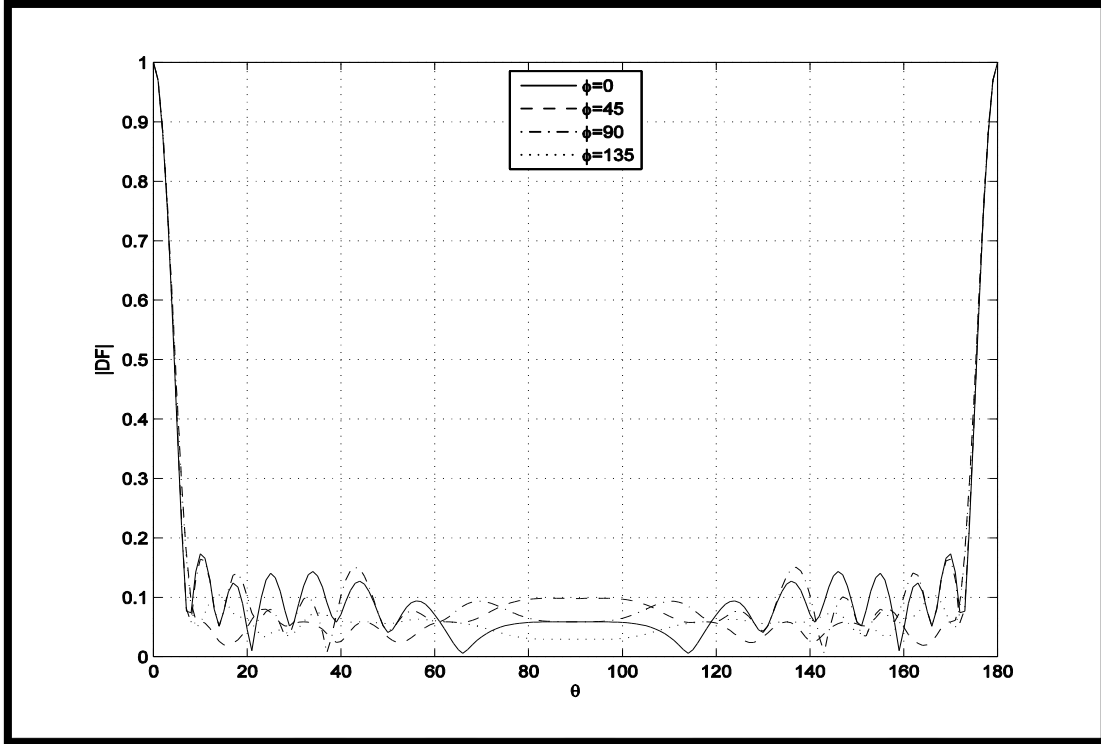
Şekil 5.24. Şekil 5.21'de verilen anten dizisi için 3 boyutlu ışınma örüntüsü

Şekil 5.21'deki düzlemsel anten dizisi için ışınma örüntüleri Şekil 5.22-5.24'te gösterilmektedir.

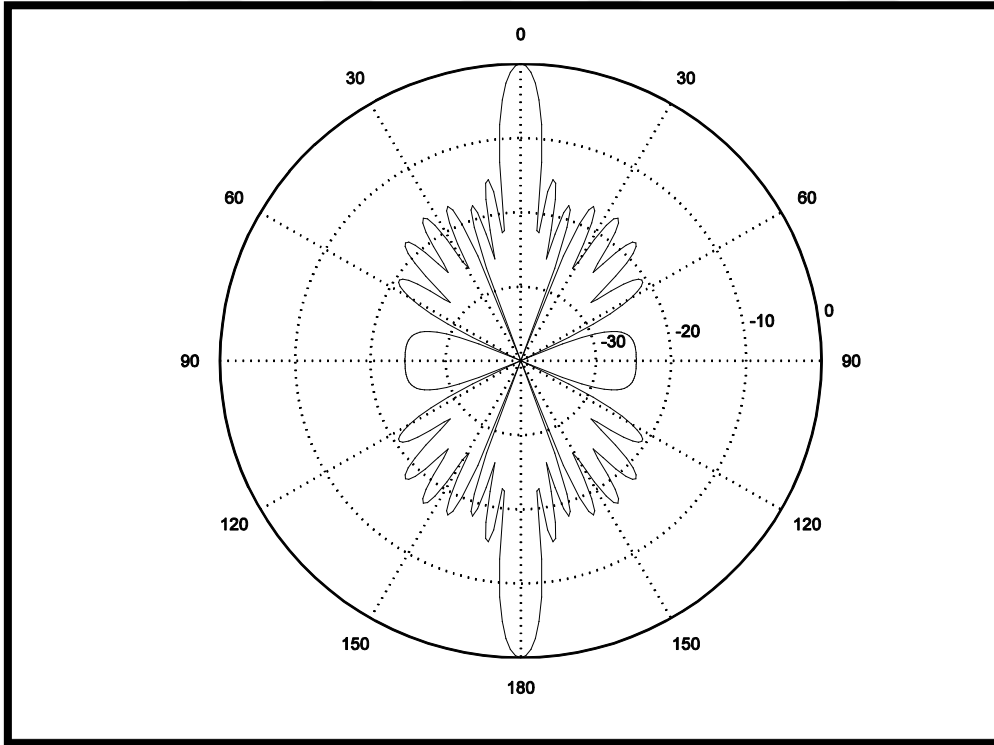
Hadamard fark kümeleri kullanılarak elde edilmiş olan ve 16×16 ızgara üzerine yerleştirilmiş olan 136 elemanlı bir düzlemsel dizi aşağıda verilmektedir [3].



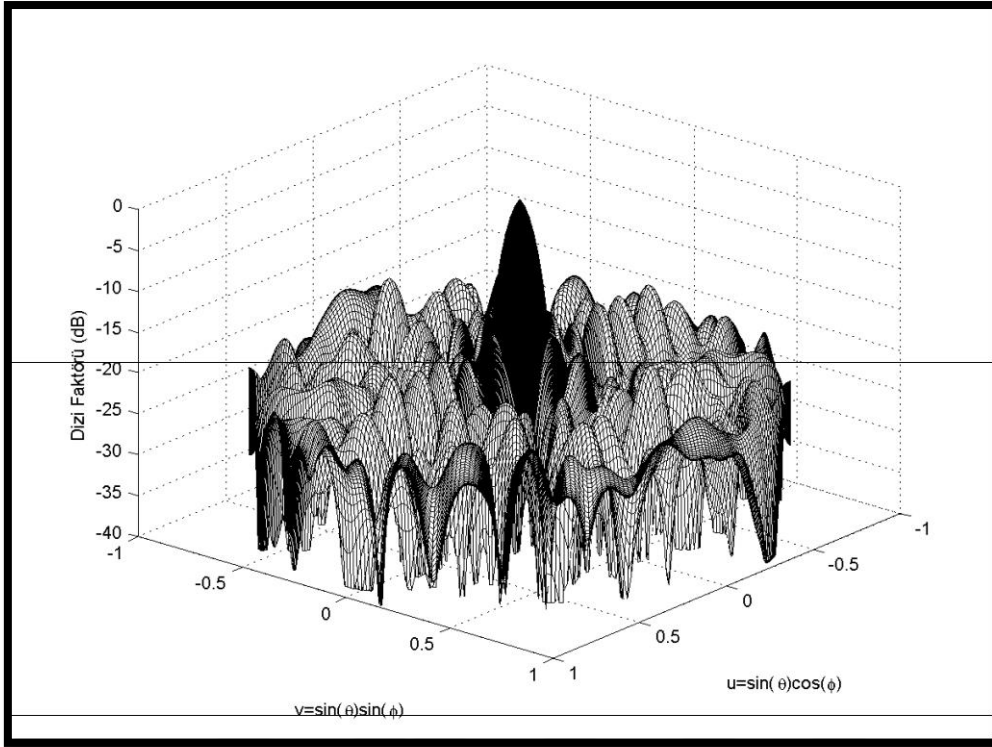
Şekil 5.25. 16x16 ızgara üzerinde Hadamard fark kümeleri kullanılarak elde edilen 136 elemanlı düzlemsel anten dizisi [3]



Şekil 5.26. Şekil 5.25'te verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi = 0$, $\phi = 45$, $\phi = 90$ ve $\phi = 135$ derece için doğrusal gösterim)



Şekil 5.27. Şekil 5.25'te verilen anten dizisi için 2 boyutlu ışınma örüntüsü ($\phi = 0$ derece için kutupsal gösterim)



Şekil 5.28. Şekil 5.25'te verilen anten dizisi için 3 boyutlu ışınma örüntüsü

Şekil 5.25'teki düzlemsel anten dizisi için ışınma örüntüleri Şekil 5.26-5.28'de gösterilmektedir. Çizelge 5.2. Şekil 5.13, Şekil 5.17, Şekil 5.21 ve Şekil 5.25 için elde edilen anten parametreleri

	Şekil 5.13	Şekil 5.17	Şekil 5.21	Şekil 5.25
Yarı güç hüzmeye genişliği ($\phi=0^\circ$)	6,51°	6,65°	6,81°	6,56°
Yarı güç hüzmeye genişliği ($\phi=45^\circ$)	6,22°	6,86°	7,08°	6,74°
Yarı güç hüzmeye genişliği ($\phi=90^\circ$)	6,36°	6,65°	6,49°	6,63°
Yarı güç hüzmeye genişliği ($\phi=135^\circ$)	7,00°	6,69°	6,52°	6,68°
Tepe yan kulakçık düzeyi	0,290	0,163	0,234	0,173
Tepe yan kulakçık düzeyi (dB)	-10,76	-15,78	-12,61	-15,25
Yöneltilik	146,75	142,53	144,02	165,29

Çizelge 5.2 incelendiğinde, ele alınan dört farklı anten dizisi için yarı güç hüzmeye genişliklerinin yaklaşık birbirine eşit olduğu, tepe yan kulakçık düzeyleri arasında belirgin fark olduğu, Şekil 5.25'te verilen 136 elemanlı anten dizisi için yöneltiliğin diğer üç anten anten dizisine oranla daha yüksek olduğu görülmektedir.

Literatürde verilmiş olan 8 x 8 ve 16 x 16 karesel anten dizilerinden bazıları için çeşitli düzlemlerde hüzmeye genişlikleri hesaplanmış, tepe yan kulakçık düzeyleri ve yöneltilikler bulunarak performans analizi yapılmıştır.



6. SONUÇ

Bu tez çalışmasında, önce 8×8 ve 16×16 boyutlu standart karesel anten dizileri için ışınma örüntüleri, çeşitli düzlemlerde yarı güç hüzmeye genişlikleri, tepe yan kulakçık düzeyleri ve yönlendiricilikler hesaplanmıştır. Söz konusu antenlerin performansları incelenmiştir.

Tez çalışmasında, daha sonra, literatürde Hadamard fark kümeleri kullanılarak elde edilmiş olan karesel anten dizilerinin performansları incelenmiştir. Bu antenler için de ışınma örüntüleri, çeşitli düzlemlerde yarı güç hüzmeye genişlikleri, tepe yan kulakçık düzeyleri ve yönlendiricilikler hesaplanmış, performans analizleri yapılmıştır.

Çalışmanın devamı olarak, Hadamard fark kümeleri kullanılarak daha büyük boyutlu karesel anten dizileri elde edilebilir ve bu anten dizilerinin performansları incelenebilir.





KAYNAKLAR

1. Balanis, C. A. (1997). *Antenna theory analysis and design*, (Second Edition). New York: John Wiley & Sons, 249-324.
2. Caorsi, S., Lommi, A., Massa, A. and Pastorino, M. (2004). Peak sidelobe level reduction with a hybrid approach based on GAs and difference sets, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 52 (4), 1116–1121.
3. Kopilovich, L. E. (2008). Square array antennas based on Hadamard difference sets, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 56 (1), 263–266.
4. Kopilovich, L. E. (2008). Array antennas of size 8×8 based on Hadamard difference sets, *Radio Physics and Radio Astronomy*, 13 (2), 210–215.
5. Kopilovich, L. E. (2013). Array antennas of size 16×16 based on Hadamard difference sets, *Radiofizika i Radioastronomia*, 18 (4), 357–361.
6. Manica, L., Rocca, P., Oliveri, G. and Massa, A. (2011). Synthesis of multi-beam sub-arrayed antennas through an excitation matching strategy, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 59 (2), 482-492.
7. Viani, F., Oliveri, G. and Massa, A. (2013). Compressive sensing pattern matching techniques for synthesizing planar sparse arrays, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 61 (9), 4577-4587.
8. Anselmi, N., Manica, L., Rocca, P. and Massa, A. (2013). Tolerance analysis of antenna arrays through interval arithmetic, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 61 (11), 5496-5507.
10. Вендик, О.Г., Парнас, М.Д. (2001). Антенны с электрическим сканированием. М: Радио и связь.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BAYRAMOV Rufat
 Uyuğu : Azərbaycan
 Doğum tarixi və yeri : 08.11.1990, Mingəçevir
 Mədəni hali : Bekar
 Telefon : 00994557608507
 e-mail : rufatbyrmv@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyyət tarixi
Yüksek lisans	Gazi Ün./Elektrik-Elektronik Müh.	Devam Ediyor
Lisans	AZMİU/Elektrik Müh.	2012

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-2014	Socar	Elektrik Mühendisi
2015-2016	Grand motors MMC	Elektrik Mühendisi
2015-2016	Milk-Pro MMC	Elektrik Mühendisi

Yabancı Dil

Rusça

Yayınlar

1) Bayramov, R., Afacan, E. (2016). Müstəvi Antena Qəfəslərinin Sintezi Metodu, IV. International Conference of Young Researchers, Qafqaz University, Baku, Azerbaijan, 432.



GAZİ GELECEKTİR..