



## Single layer reflectarray antenna design with variable size patches for X-band applications

Hande Bodur\*<sup>ORCID</sup>, Sibel Çimen<sup>ORCID</sup>

Department of Electronics and Communication Engineering, Kocaeli University, Kocaeli, 41380, Turkey

### Highlights:

- The design of reflectarray antenna for X-band applications
- The composing of reflectarray antenna with using variable size patches
- Obtaining the reflection phase graph with wide phase range and linear form

### Graphical/Tabular Abstract

In this study, single layer microstrip reflectarray antenna design and analysis for X-band (8-12 GHz) applications are performed. A new unit cell has been designed to achieve phase change in linear form. This structure composed of interdigitated diamond-shaped geometry and it is printed on a thin dielectric substrate with  $\epsilon_r=3$  dielectric permittivity and  $h=1.524$  mm thickness.  $420^\circ$  phase range is obtained by this new design unit cell. The size of  $9 \times 9$  reflectarray antenna is  $153\text{mm} \times 153\text{mm}$ . The pyramidal horn antenna is used for center-feed configuration. The required phase delay compensated by using variable size unit cell element and the main beam directed to the desired direction ( $\theta=0^\circ$ ). The designed reflectarray antenna is practically realized and the measurements are done in non-reflective room. The performance of reflectarray antenna is verified by measurement and simulation results. Obtained simulation and measurement results are in harmony with each other. The maximum gain value is 22.25 dB at 10.7 GHz, 1-dB gain bandwidth is 20% between 9.75GHz-12 GHz and 3-dB gain bandwidth is 27% between 9.1 GHz-12 GHz.

### Keywords:

- Unit cell
- Microstrip
- Reflectarray antenna

### Article Info:

Research Article  
Received: 13.03.2018  
Accepted: 21.09.2018

### DOI:

10.17341/gazimmfd.571610

### Acknowledgement:

This study was supported by The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK), Project No: 114E500

### Correspondence:

Author: Hande Bodur  
e-mail:  
hande.bodur@kocaeli.edu.tr  
phone: +90 262 303 3376

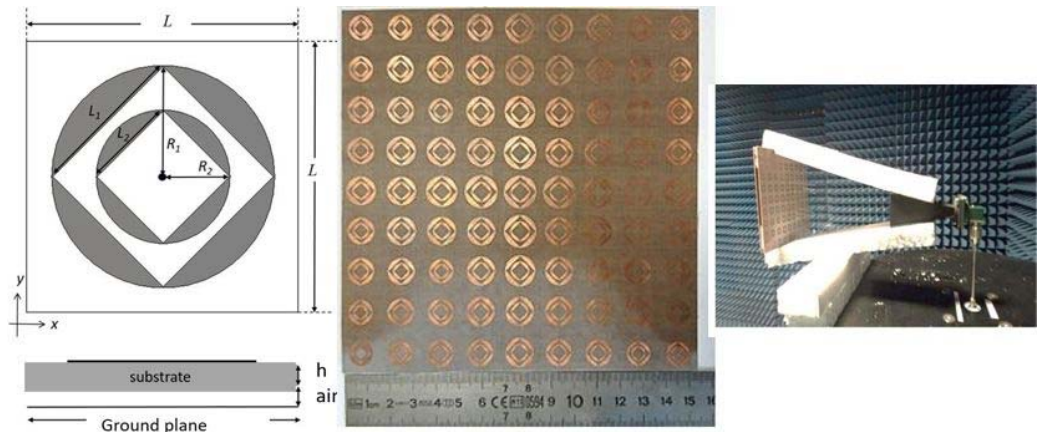


Figure A. Proposed unit cell and fabricated reflectarray antenna

**Purpose:** A new type single layer unit cell is designed to increase the gain bandwidth of reflectarray antenna.

### Theory and Methods:

For making wideband reflectarray antenna, the reflection phase characteristics of unit cell must have wide and smoother phase response. For this reason, the proposed unit cell element phase characteristic is investigated. Also, the required phase distribution of each unit cell is calculated to compensate the phase delays. Thereby, the dimensions of all unit cell elements are obtained and wide gain bandwidth is achieved.

### Results:

The simulated results are as follows; the maximum gain value is 22.25 dB at 10.7 GHz, 1-dB gain bandwidth is 20% between 9.75GHz-12 GHz and 3-dB gain bandwidth is 27% between 9.1 GHz-12 GHz.

### Conclusion:

A broadband single-layer, center-fed reflectarray antenna is proposed. A new type of phasing element has a slow phase variation and wide phase range. Performance of the proposed reflectarray antenna is verified through by measurement and simulation results.



## X-bant uygulamalar için tek katmanlı değişken birim eleman boyutlu yansıtıcı dizi anten tasarımı

Hande Bodur\*<sup>1</sup>, Sibel Çimen<sup>2</sup>

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İzmit-Kocaeli, 41380, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- X-bantta çalışan tek katmanlı yansıtıcı dizi anten tasarımı
- Değişken boyutlu yamalar kullanılarak yansıtıcı dizinin oluşturulması
- Geniş faz aralığı ve doğrusal özellikte yansıma faz grafiğinin elde edilmesi

### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi  
Geliş: 13.03.2018  
Kabul: 21.09.2019

### DOI:

10.17341/gazimmfd.571610

### Anahtar Kelimeler:

Birim hücre,  
mikroşerit,  
yansıtıcı dizi anten

### ÖZET

Bu çalışmada X-bant (8-12 GHz) uygulamalar için tek katmanlı yansıtıcı dizi anten tasarımı ve analizleri yapılmıştır. Doğrusal özellikte faz değişimi elde etmek için yeni bir birim hücre elemanı tasarlanmıştır. Tasarlanan bu yapı iç içe eşlenik baklava geometrisinden oluşup, dielektrik katsayısı  $\epsilon_r=3$ ,  $h=1,524$  mm kalınlığa sahip ince bir dielektrik tabaka üzerine basılmıştır. İç içe eşlenik baklava yapısı kullanılarak oluşturulan birim hücre ile  $420^\circ$  yansıma faz değişim aralığı elde edilmiştir.  $9 \times 9$ 'luk diziden oluşan yansıtıcı dizinin boyutu  $153\text{mm} \times 153\text{mm}$ 'dir. Merkez beslemesi olarak piramidal horn anten kullanılmıştır. Değişken boyutlu birim elemanlar kullanılarak oluşturulan yansıtıcı dizi ile gerekli faz gecikmeleri telafi edilip ana hüzmeye istenilen yöne ( $\theta=0^\circ$ ) yönlendirilmiştir. Tasarlanan yansıtıcı dizi antenin pratik gerçekleştirilmesi yapıp yansımaz odada ölçümleri alınmıştır. Yansıtıcı dizi antenin performansı ölçüm ve benzetim sonuçları ile elde edilip doğrulanmıştır. Elde edilen ölçüm ve benzetim sonuçları birbirleriyle uyum içerisindedir. Maximum kazanç değeri 10,7 GHz'de 22,25 dB, 1-dB kazanç bant genişliğinin 9,75 GHz-12 GHz aralığında 20% ve 3-dB kazanç bant genişliğinin 9,1 GHz-12 GHz aralığında 27% olduğu gözlenmiştir.

## Single layer reflectarray antenna design with variable size patches for X-band applications

### H I G H L I G H T S

- The design of reflectarray antenna for X-band applications
- The composing of reflectarray antenna with using variable size patches
- Obtaining the reflection phase graph with wide phase range and linear form

### Article Info

Research Article  
Received: 13.03.2018  
Accepted: 21.09.2019

### DOI:

10.17341/gazimmfd.571610

### Keywords:

Unit cell,  
microstrip,  
reflectarray antenna

### ABSTRACT

In this study, single layer microstrip reflectarray antenna design and analysis for X-band (8-12 GHz) applications are performed. A new unit cell has been designed to achieve phase change in linear form. This structure composed of interdigitated diamond-shaped geometry and it is printed on a thin dielectric substrate with  $\epsilon_r=3$  dielectric permittivity and  $h=1.524$  mm thickness.  $420^\circ$  phase range is obtained by this new design unit cell. The size of  $9 \times 9$  reflectarray antenna is  $153\text{mm} \times 153\text{mm}$ . The pyramidal horn antenna is used for center-feed configuration. The required phase delay compensated by using variable size unit cell element and the main beam directed to the desired direction ( $\theta=0^\circ$ ). The designed reflectarray antenna is practically realized and the measurements are done in non-reflective room. The performance of reflectarray antenna is verified by measurement and simulation results. Obtained simulation and measurement results are in harmony with each other. The maximum gain value is 22.25 dB at 10.7 GHz, 1-dB gain bandwidth is 20% between 9.75GHz-12 GHz and 3-dB gain bandwidth is 27% between 9.1 GHz-12 GHz.

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: hande.bodur@kocaeli.edu.tr, sibelgunduz@kocaeli.edu.tr / Tel: +90 262 303 3376  
1862

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yüksek kazançlı antenler uzun mesafe haberleşme sistemlerinde ve radar uygulamalarında sıklıkla kullanılırlar. Geleneksel olarak yüksek kazanç gerektiren uygulamalarda parabolik reflektörler kullanılmaktadır. Fakat bu tip yansıtıcıların hantal ve eğrisel yapısı yüzünden elektronik hüzmeye yönlendirme yapılamamakta ve mikrodalga frekanslarına çıkıldığında imalatı zorlaşmaktadır. Bu sebeplerden mikoşerit yansıtıcı dizi antenler son yıllarda parabolik yansıtıcılara alternatif olarak kullanılmaktadır [1]. Bu antenler fiziksel olarak hafif ve az hacimli olma, düşük maliyetli olma, imalatının kolay olması [2] ve elektronik hüzmeye yönlendirme kabiliyeti gibi birçok avantaja sahiptirler [3]. Yansıtıcı dizi antenler, kaynak anteni ile beslenen faz dizi elemanlarının yansıtıcı yüzeye dizilimiyle oluşan yapılardır [4]. Bahsedilen bu faz dizi elemanları kaynak antenden gelen elektromanyetik dalgaları istenilen yöne yönlendirmek için tasarlanırlar [5]. Bu tip antenlerin dezavantajı dar bantlı olmaları gösterilebilir [6] (Yaklaşık %3-6). Bunun en büyük nedeni dar bantlı frekans karakteristiği olan birim elemanların kullanımıdır [7]. Eğer yansıtıcı dizi antende kullanılan dizi elemanları linear olmayan S-şekilli faz eğrisine sahip ise farklı frekanslara karşı değişimi yüksek olur. Bu da dar bir frekans bandında çalışmasına neden olur. Literatürde yansıtıcı dizi antenlerin bant genişliğini artırmak için birçok yöntem önerilmiştir. Çok katman [8] veya kalın tabaka üzerine yansıtıcı dizi anteni tasarlamak, tek katman üzerine çoklu rezonansa sahip dizi elemanları kullanmak ve değişken boyutlu birim elemanlar kullanmak [9] literatürde kullanılan yöntemler arasındadır.

Bahsedildiği üzere yöntemlerden biri, iki veya daha fazla katmanlı tabakalarda çeşitli boyutlarda yama dizi elemanlardan oluşan anten yapısı kullanmaktır [10]. Bu yöntem ile frekansa göre faz değişim eğimi azaltılıp, S-eğrisinin linear hale getirilmesi sağlanır [11]. Ancak, bahsedilen bu yöntem ile bant genişliği 10-15% e kadar çıkarılabilmektedir. Ayrıca anten yapısı katmanlı olmasından dolayı kayıplı, hantal ve imalatının kompleks olmasına neden olmuştur [12]. Bant genişliğini arttırmanın bir diğer yolu ise faz cevabı eğimini azaltmak amacıyla kalın tabaka üzerine yansıtıcı dizi anteni tasarlamaktır. Fakat bu yöntem antenin kazanç ve toplam ışıma verimliliği düşürmektedir [13]. Bunun yanında, üretim kolaylığı sağlaması açısından bant genişliğini arttırmak için tek tabakalı yapılara çoklu-rezonansa sahip dizi elemanları yerleştirilerek tasarlanan çalışmalar da vardır [14, 15]'de bahsedilen tek-katmanlı yapı üzerinde çoklu rezonansa sahip olması açısından çift artı şekilli halkalar kullanılmıştır. Fakat o çalışma ile 1-dB kazanç bant genişliği 10% olarak elde edilmiştir.

Bant genişliği artırmak için literatürde yer alan bir diğer yöntem ise değişken boyutlu yama, dipol ya da halka yapılarının kullanımıdır [16]. Değişken boyutlu hücrelerin farklı faz değerleri vardır. Bu ise kaynak anteninden gelen elektromanyetik ışınının farklı kaynak-yol gecikmelerini

telafi edebilmesine olanak tanımıştır. Bu noktadan çıkış ile yansıtıcı dizi anten üzerindeki elemanların boyutları, kaynak antenden gelen küresel dalgayı eş faz düzlemi oluşturacak şekilde farklı boyutlarda tasarlanır. Burada temel hedef, arzu edilen frekans bölgesinde birim hücrenin faz farkının en az 360° olmasıdır. Gerekli faz farkı, yama ya da halka gibi yapıların geometrilerinde farklılıklar yapılarak elde edilir. Fakat bu yöntem birim eleman boyutuna göre faz farkı grafiğinde oldukça sert bir değişime neden olmuştur. Ve bunun sonucunda da bant genişliği azalmış, üretim kaynaklı hatalara olan toleransı azalmıştır. Birim eleman boyutuna göre olan faz değişiminin eğimini azaltmak için literatürde kalın tabakalı dielektrik yapıların kullanıldığı görülmektedir. Bu uygulama ise hem faz aralığının 360°'den daha az olmasına hem de anten kazancının azalmasına sebep olmuştur.

Bu çalışmada bahsedilen bu problemleri aşmak, kazanç bant genişliğini artırmak amacıyla yeni bir birim hücre tasarlanmıştır. Geniş bir faz aralığına ve düşük faz eğimine sahip birim eleman tek katmanlı olup X-bant (8-12 GHz) frekans aralığında çalışmaktadır. Birim hücre iç içe eşlenik baklava olarak adlandırdığımız yapıdan meydana gelmektedir. Yapının toplam faz değişimini yaklaşık 420°'dir. Tasarlanan birim hücrelerle oluşturulan 9×9'lük dizi, piramidal horn anten ile beslenerek üretilmiş ve ölçümleri yapılmıştır. Simülasyon ve ölçüm sonuçları göstermiştir ki 3-dB kazanç bant genişliği 9-12 GHz aralığında 27%, 1-dB kazanç bant genişliği 9,75-12 GHz aralığında 20% olup maximum 22,25 dB kazanç elde edilmiştir. Ayrıca ışına örüntülerine bakıldığında simülasyon ve ölçüm sonuçları birbirini uyum içerisinde takip ettiği gözlenmiştir.

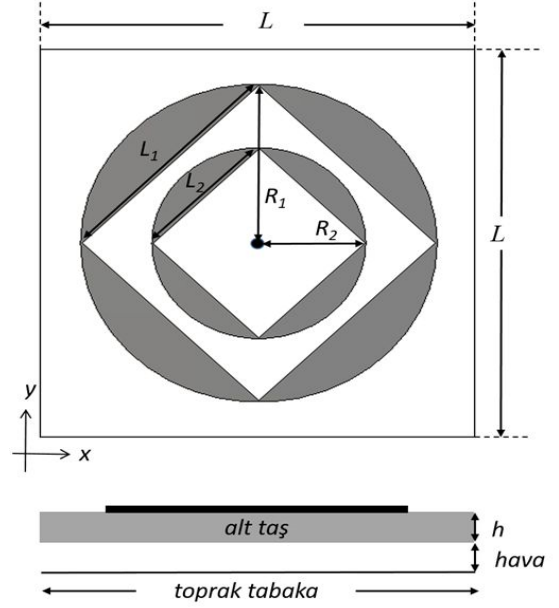
## 2. BİRİM HÜCRE TASARIMI (THE UNIT CELL DESIGN)

Yansıtıcı dizi anten için tasarlanan birim hücre iç içe eşlenik baklava geometrisinden meydana gelmektedir ve Şekil 1'de gösterilmiştir. Tasarlanan bu birim hücre 17 mm × 17 mm yani  $f=10$  GHz'de  $0,5\lambda \times 0,57\lambda$  boyutunda olup, dielektrik katsayısı,  $\epsilon_r=3$ , kalınlığı  $h=1,524$  mm olan Arlon marka tabaka üzerinde tasarlanmıştır. Bu tabakanın arkasına 5,5 mm'lik hava boşluğu bırakarak toprak tabakası hava boşluğundan sonra yerleştirilmiştir. Bunun yanı sıra diğer parametreleri ise  $R_1=\text{değişken}$ ,  $R_2=k_2 \times R_1$ ,  $L_1=k_1 \times R_1$ ,  $L_2=k_1 \times R_2$ ,  $k_1=1,4$ ,  $k_2=0,6$  şeklindedir.

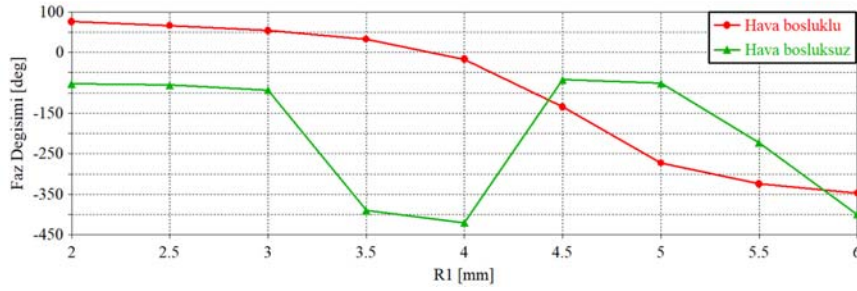
Hava boşluğunun,  $k_1$  ve  $k_2$ 'nin faz üzerindeki etkisini incelemek amacıyla parametrik çalışmalar yapılmıştır. Şekil 2 ve Şekil 3'ten görüldüğü üzere arzu edilen frekans bölgesinde doğrusal özelliğe ve geniş faz aralığına sahip değerler seçilip tasarım aşamasında kullanılmıştır.

Yansıtıcı dizi anten karakteristiği doğrudan birim hücre performansına bağlı olduğu için birim hücre analizinin doğru yapılması kritik önem taşımaktadır. Çalışmamızın analizleri için CST Microwave Studio paket programı kullanılmıştır. Birim hücre faz değişim grafiklerini elde etmek için dalga

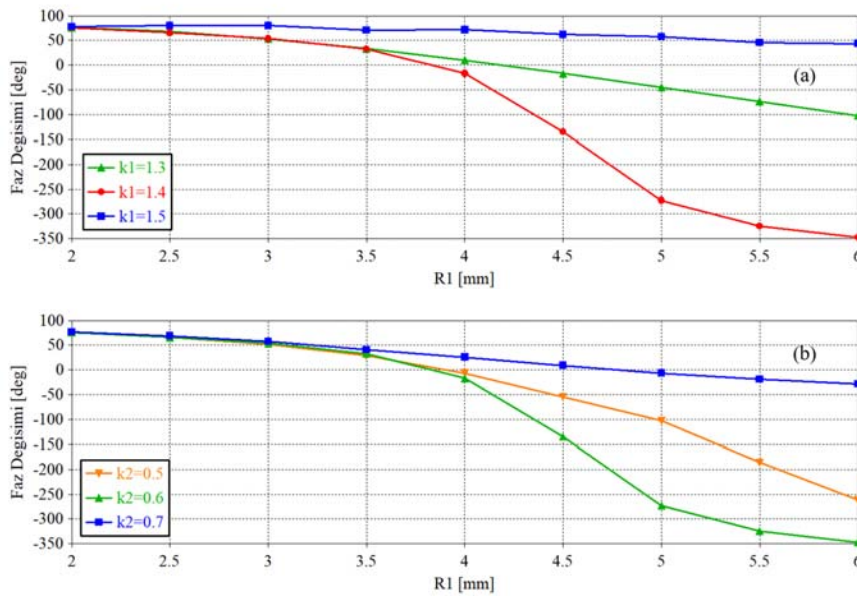
kılavuzu modeli seçilmiştir. Bu modelde, gelen elektrik alanın teğet bileşenlerinin olduğu duvarlar mükemmel manyetik (PMC), E-alanının dik olduğu duvarlar ise mükemmel elektrik iletken (PEC) olarak atanır. Böylece E-alanı PEC sınırlarında sonsuz, H-alanı da PMC sınırlarında sonsuz gibi davranır. Dalga kılavuzu tasarlanan birim hücre ile sonlandırılır ve yapıya ilişkin yansımaya karakteristikleri elde edilir. Kaynaktan gelen elektromanyetik dalgalar yansıtıcı yüzeye farklı yollar kat ederek gelmektedirler. Yansıtıcı yüzeyden geri yansıyan dalgaların bu yol farkından kaynaklanan faz gecikmeleri değişken boyutlu yamalar kullanılarak giderilmiştir.  $R_1$ 'in değişimine bağlı olarak elde edilmiş faz değişim grafiği 10 GHz için Şekil 4a'da gösterilmiştir. Yapının toplam faz değişimi şekilden de görüleceği üzere yaklaşık  $420^\circ$ 'dir. Ayrıca farklı frekanslarda elde edilen faz değişim grafiklerinin birbirine paralel olması geniş bant yansıtıcı dizi antenler için gereklidir. Bu eğrilerin birbirine paralel olması yansıtıcı dizi antenin geniş bantlı bir karakteristiğe sahip olacağını göstermektedir. Şekil 4b'den de görüleceği üzere tasarlanan yapının farklı frekanslardaki faz değişim eğrileri neredeyse birbirine paralel durumdadır.



Şekil 1. Birim hücre geometrisi (The geometry of unit cell)



Şekil 2. 10 GHz için hava boşluklu ve hava boşluksuz  $R_1$  parametresine bağlı faz değişim grafiği (The phase variation graph with and without air gap for 10 GHz)



Şekil 3. 10 GHz için  $R_1$  parametresine bağlı faz değişim grafiği a) Değişen  $k_1$  değerleri için b) Değişen  $k_2$  değerleri için (The phase variation graph for 10 GHz (a) For variable  $k_1$  values (b) For variable  $k_2$  values)

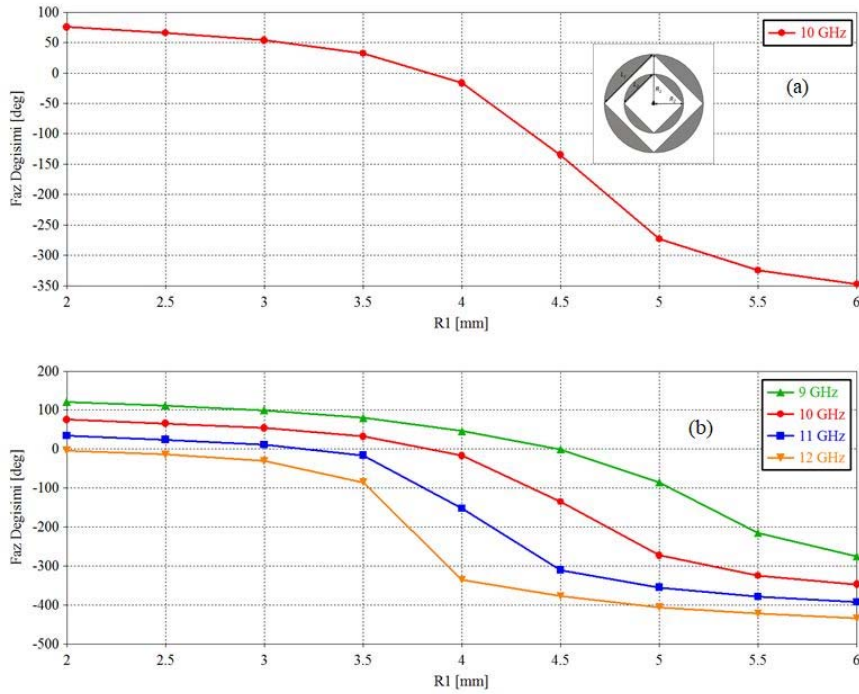
### 3. YANSITICI DİZİ ANTEN TASARIMI (THE REFLECTARRAY DESIGN)

Kaynak anten olarak kullanılan piramidal horn antenden gelen elektromanyetik dalgalar yansıtıcı yüzey üzerinde bulunan birim elemanlar vasıtasıyla geri yansıtılırlar (Şekil 5). Kaynaktan gelen elektromanyetik dalgalar her bir birim elemana farklı mesafeler kat ederek gelmektedir. Geri yansıyan bu dalgaların uzak alanda eş faz düzlemi oluşturması arzulanmaktadır. Bu sebeple yol farkından kaynaklanan faz gecikmesini her bir birim elemanın uygun bir biçimde telafi edebilmesi için değişken boyutlu birim hücre elemanları kullanılmıştır. Geri yansıyan dalgayı belirli bir yöne doğru yönlendirebilmek adına birim hücre elemanları ile bu faz gecikmeleri telafi edilmelidir. Eş. 1 ve Eş. 2 kullanılarak her bir elemanın faz kayması değeri hesap edilmiştir.

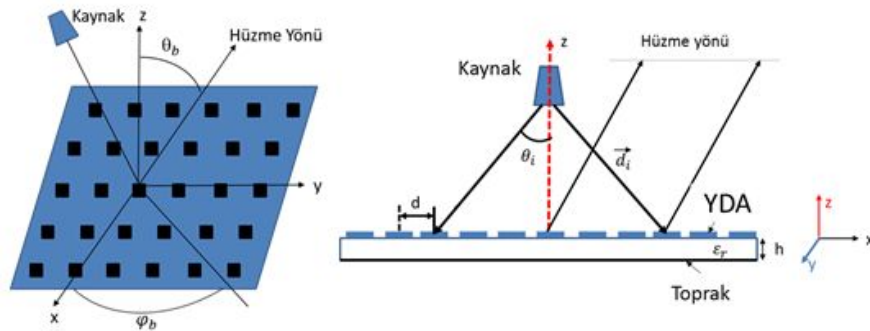
$$\varphi_R(x_i, y_i) = k_0(d_i - (x_i \cos \varphi_b + y_i \sin \varphi_b) \sin \theta_b) \quad (1)$$

$$d_i = \sqrt{(x_i - x_f)^2 + (y_i - y_f)^2 + (z_i - z_f)^2} \quad (2)$$

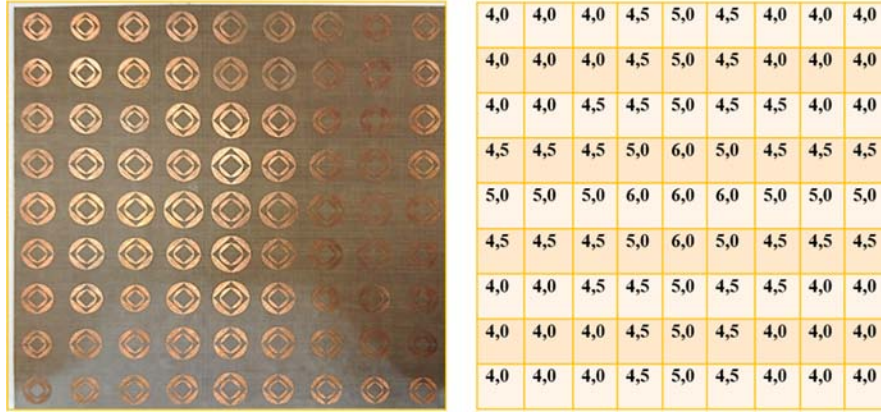
Bu eşitliklerde yer alan  $k_0$  serbest uzay yayılma sabiti,  $x_i, y_i$  ise  $i$  numaralı elemanın koordinatını,  $\varphi_R(x_i, y_i)$   $i$  numaralı elemanın faz kaymasını,  $d_i$  kaynağın  $(x_i, y_i)$   $i$ 'nci elemana olan mesafesini,  $x_f, y_f$  ve  $z_f$  kaynak antenin koordinatlarını belirtmektedir. Şekil 4a'da yer alan faz değeri-eleman boyutu bilgisi ve Eş. 1 ve Eş. 2'den elde edilen her bir elemanın faz gecikme bilgisi kullanılarak yansıtıcı dizi anten üzerindeki elemanların boyutları yazılan bir MATLAB kodu ile elde edilmiştir. Değişken parametre olarak  $R_1$  seçilmiş, Şekil 6'da her birim hücre için  $R_1$ 'in değerleri mm cinsinden verilmiştir. 10 GHz'de elde edilen birim hücre faz dağılımları Şekil 7'de gösterilmiştir.



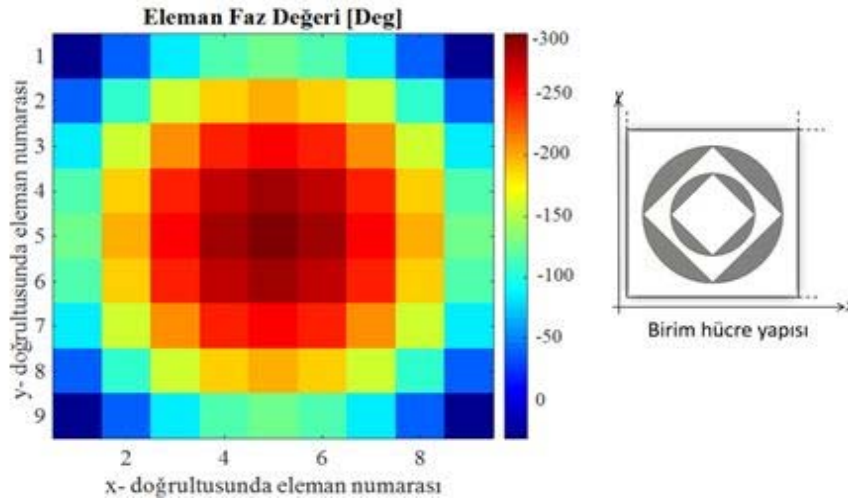
Şekil 4. a) 10 GHz için  $R_1$  parametresine bağlı faz değişim grafiği b) 9-12 GHz için  $R_1$  parametresine bağlı faz değişim grafiği ((a)The phase variation graph for 10 GHz (b) The phase variation graph for 9-12 GHz)



Şekil 5. Yansıtıcı dizi anten mekanizması (The mechanism of reflectarray antenna)



Şekil 6.  $R_1$ 'in her birim hücre için değişen değerleri (mm) (Variable  $R_1$  values for each unit cell (mm))



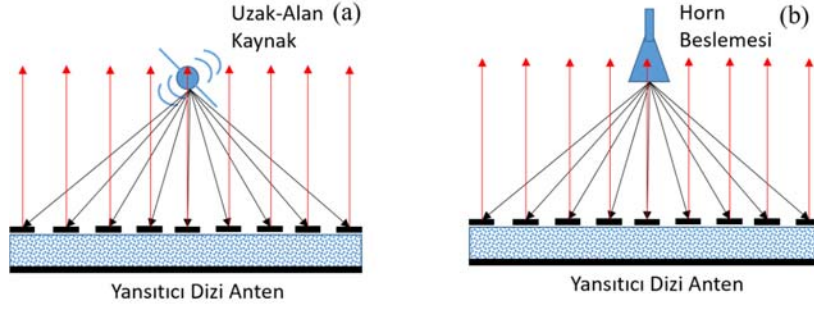
Şekil 7. Yansıtıcı dizi antendeki birim hücrelerin faz dağılımları (The phase distributions of unit cells on reflectarray)

Birim hücre boyutu  $17 \text{ mm} \times 17 \text{ mm}$  olan, 81 elemanlı  $9 \times 9$ 'luk diziden oluşan yansıtıcı dizi anten  $153 \text{ mm} \times 153 \text{ mm}$  ( $5,1\lambda \times 5,1\lambda$ ) kare alana oluşturulmuştur. Birim hücre elemanlarının boyutları ana hüzmeye  $\theta = 0^\circ$ 'de olacak şekilde seçilmiştir. Yansıtıcı dizi antenin merkez beslemesi Flann marka, 16240-15 model numaralı piramidal horn anten ile yapılmıştır. X-bantta çalışan bu anten  $x_f = 0$ ,  $x_y = 0$  ve  $x_z = 193 \text{ mm}$  odak uzaklığına (F) yerleştirilmiştir. Yapının F/D oranı bu şekilde 1,26 olarak elde edilmiştir (D=153 mm yansıtıcı dizi anten boyutu).

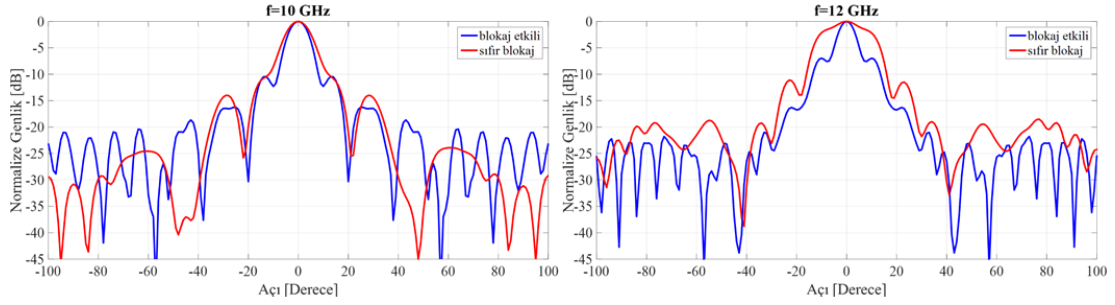
Merkezi beslemeli yansıtıcı dizi antenlerde besleme antenin fiziksel yerleşiminden dolayı ışınma örüntüsünde blokaj etkisi meydana gelir. Bu sebeple yansıtıcı dizi antenin tasarımında blokaj etkisinin gösterilmesi önemlidir. Bu çalışmada blokaj etkisini göstermek için iki farklı analiz yapılmıştır. İlk olarak blokaj etkisi sıfır iken, ikinci olarak ise blokaj etkisi hesaba katılarak ışınma örüntüleri elde edilmiştir. Merkezi beslemeli yansıtıcı dizi antenlerde sıfır blokaj etkisi hesaplanırken yansıtıcı diziyi ve besleme antenini ayrı ayrı ele almak uygun olacaktır. Bu sebeple besleme antenin analizleri ayrı olarak yapıp ışınma örüntüleri elde edilmiştir. Elde edilen bu örüntülerde fiziksel horn beslemesi yerine

uzak alan kaynağı kullanılmış ve blokaj etkisi hesaba katılmamıştır (Şekil 8a). Blokaj etkisi hesaba katılarak yapılan analizde ise yansıtıcı dizi anten ve beslemesi olan horn anten dahil edilerek tüm yapının analizi CST Microwave Solver'da yapılmıştır. Bu sayede hem merkez blokaj etkisi ve hem de besleme ile yansıtıcı dizi arasındaki çoklu yansımalar hesaplanabilmiş, analiz sonuçlarına dahil edilebilmiştir (Şekil 8b). Yapılan analizler sonucunda blokaj etkili ve sıfır blokaj durumlarında 10 GHz ve 12 GHz için ışınma örüntüleri Şekil 9'da yer almaktadır. Görüldüğü üzere blokaj etkisinin dahil edildiği analiz sonucunda çoklu yansımaların etkisi gözlenirken, sıfır blokaj durumunda fiziksel bir besleme kullanılmadığından çoklu yansımaların etkisi görülmemektedir. Blokaj etkisini minimize etmek amacıyla açılı-beslemeli anten kullanılarak yansıtıcı dizi anten tasarımı yapılabilir. Bu yöntem literatürde kullanılan en yaygın tekniktir. Bu çalışmada ise sadece merkezi beslemeli yansıtıcı dizi anten tasarımı yapılmıştır.

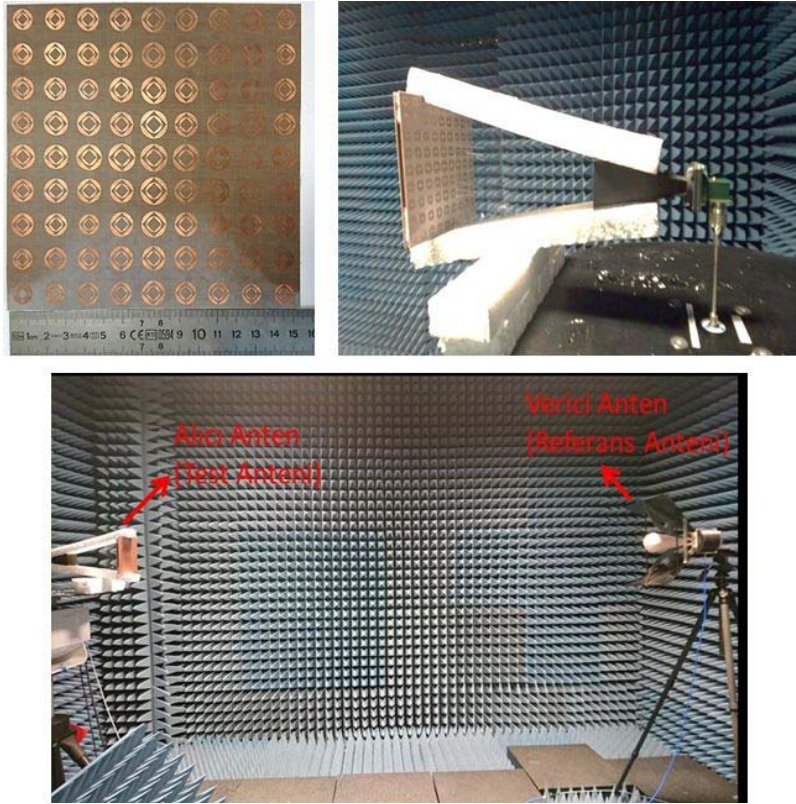
Tasarlanan yapı üretilip Şekil 10'dan da görüleceği üzere yansısız odada referans anten ile ölçümleri yapılmıştır. Kocaeli Üniversitesi Mikrodalga ve Anten Laboratuvarında bulunan yansısız oda 900MHz - 20GHz frekans aralığı



Şekil 8. Yansıtıcı dizi antenlerde blokaj etkisinin incelenmesi a) Sıfır blokaj b) Blokaj etkili (Investigation of blockage effect on reflectarray antennas (a) Zero blockage (b) Integrated blockage)



Şekil 9. Benzetim sonuçları ile elde edilen  $f=10$  ve  $f=12$  GHz için blokaj etkisi dikkate alındığı ve alınmadığı durumlarda ışınma örüntüleri (Simulated radiation patterns for integrated blockage and zero blockage at  $f=10$  and  $f=12$  GHz)



Şekil 10. Üretilen yansıtıcı dizi antenin ölçüm düzeneği (The measurement setup for produced reflectarray antenna)

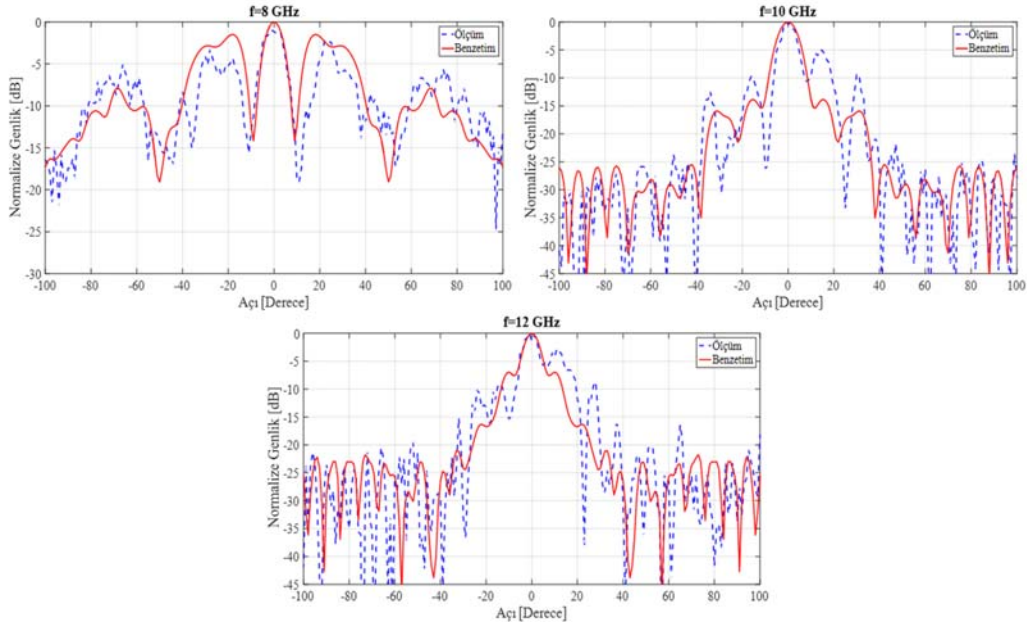
için tasarlanmıştır. Yansımaz odada verici anten (Referans Anten) olarak DAMS Diamond Engineering Automated

Antenna Measurement System tarafından geliştirilen Model: De0530 SN:22 numaralı anten kullanılmıştır. Ölçüm

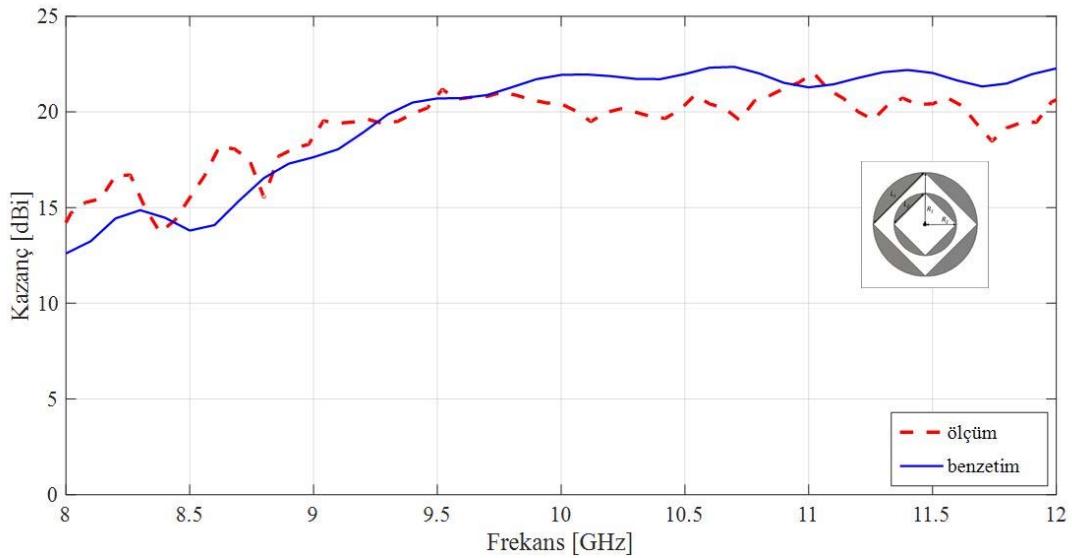
düzeneğinde düşük kayıplı koaksiyel kablolar ile bağlantısı yapılan Rohde & Schwarz ZVB 20 vektör network analizörü (VNA) kullanılmıştır.

Gerçekleştirilen ölçüm sonuçları ile CST Microwave Studio'da alınan benzetim sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 11 ve Şekil 12'de bulunmaktadır. Şekil 11'de  $f=8$  GHz, 10 GHz, 12 GHz için elde edilen H-düzlemi ışınma örüntüleri yer almaktadır. Ana hüzmünün  $\theta = 0^\circ$  olduğu gözlenmektedir. Şekillerden de görüldüğü üzere ölçülen yan kulakçık seviyeleri benzetim sonuçlarından büyüktür. Bunun

sebebi hem ölçüm ve pratik imalattan gelen hatalar hem de kaynak anteninden geri saçılmalar olarak söylenebilir. Bunun dışında ölçüm ve benzetim sonuçları büyük oranda birbirleriyle uyum içerisindedir. Bu ölçüm sonucunda elde edilen kazanç grafiği Şekil 12'de yer almaktadır. Maximum kazanç değeri 10,7 GHz'de 22,25 dB, 1-dB kazanç bant genişliğinin 9,75 GHz-12 GHz aralığında 20% ve 3-dB kazanç bant genişliğinin 9,1 GHz-12 GHz aralığında 27% olduğu gözlenmiştir. Literatürde var olan bazı antenler ile bu çalışmada önerilen antenin ışınma performansları bakımından karşılaştırılması Tablo 1'de verilmiştir.



**Şekil 11.** Benzetim ve ölçüm ile elde edilen,  $f=8$ ,  $f=10$  ve  $f=12$  GHz'de H-düzlemi ( $\phi=0^\circ$ ) ışınma örüntüleri  
(Measured and simulated radiation patterns for H-plane ( $\phi=0^\circ$ ) at  $f=8$ ,  $f=10$  and  $f=12$  GHz)



**Şekil 12.** Ölçüm ve benzetim ile elde edilen frekansa göre kazanç grafiği  
(The gain graph according to frequency which is obtained by simulation and measurement)



**Tablo 1.** Literatürdeki antenler ile bu çalışmada önerilen antenin karşılaştırılması  
(Comparison between proposed antenna and other works)

	Boyut (mm)	Kazanç (dB)	Frekans (GHz)	Yan lob seviyesi (dB)	1-dB Kazanç Genişliği (%)
Önerilen anten	153 x 153	22,25	8-12	-13,7	20
[17]	135 x 135	20,1	8-12	-13	20
[18]	153 x 153	22	8-12	-15	-
[19]	400 x 400	19,4	8-12	-4	-

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada tek katmanlı, piramidal horn anten ile beslenmiş X-bant (8-12 GHz) uygulamalar için mikroşerit yansıtıcı dizi anten tasarlanmıştır. Önerilen yansıtıcı dizi anten, iç içe eşlenik baklava geometrisinden oluşmaktadır. Değişken boyutlu birim hücre elemanları ile 420° faz aralığı ve düşük faz eğimi elde edilmiştir. Tasarlanan yansıtıcı dizi antenin kazanç bant genişliği tasarım parametrelerinin ayarlanmasıyla iyileştirilmiştir. Her bir birim hücrenin boyutu 17 mm × 17 mm olup 9 × 9 dizi elamanından oluşan yansıtıcı dizinin boyutları 153mm × 153mm'dir. Tasarlanan yansıtıcı dizi antenin pratik gerçekleştirilmesi yapılarak yansımaz odada ölçümleri alınmıştır. Yansıtıcı dizi antenin performansı ölçüm ve benzetim sonuçları ile elde edilip doğrulanmıştır. Elde edilen ışınma örüntüsü ve frekansa göre kazanç grafikleri birbiriyle uyum içerisindedir. Maximum kazanç değeri 10,7 GHz'de 22,25 dB, 1-dB kazanç bant genişliğinin 9,75 GHz-12 GHz aralığında 20% ve 3-dB kazanç bant genişliğinin 9,1 GHz-12 GHz aralığında 27% olduğu gözlenmiştir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma 114E500 proje numarası ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Li, H., Guo, Y.-X., A Broadband Reflectarray Using Multiresonant and Subwavelength Elements, 3rd Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation, Harbin-China, 26-29 July, 2014.
- Sainati, R. A., CAD of Microstrip Antennas for Wireless Applications, Artech House, MA, USA, 1996.
- Kayabaşı, A., Akdağlı, A., Usage of ann and anfs methods for computing resonant frequency of Slot-Loaded compact microstrip antennas, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 31 (1), 105-117, 2016.
- Huang, J., Encinar, J. A., Reflectarray Antennas, IEEE Press/Wiley, Piscataway, NJ, USA, 2008.
- Li, L., Chen, Q., Yuan, Q., Sawaya, K., Maruyama, T., Furuno, T., Uebayashi, S., Frequency selective reflectray using crossed-dipole elements with square loops for wireless communication applications, IEEE Antennas and Propagation Society, 59 (1), 89-99, 2011.
- Li, L., Li, L., Broadband microstrip beam deflector based on dual-resonance conformal loops array, IEEE Antennas and Propagation Society, 62 (6), 3028-3034, 2014.
- Bialkowski M.E., Sayidmarie K.H., Bandwidth considerations for a microstrip reflectarray, Progress In Electromagnetics Research B, 3, 173-187, 2008.
- Encinar, J. A., Zornoza, J. A., Broadband design of three-layer printed reflectarray, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 51 (7), 1662-1664, 2003.
- Encinar, J. A., Design of two-layer printed reflectarrays using patches of variable size, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 49 (10), 1403-1410, 2001.
- Misran N., Cahill, R., Fusco, V., Design optimization of ring elements for broadband reflectarray antennas, IEEE Proc. Microwaves Antennas and Propagation, 150 (6), 440-444, 2003.
- Carrasco, E., Encinar J. A., Barba, M., Bandwidth improvement in large reflectarrays by using true-time delay, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 56 (8), 2496-2503, 2008.
- Pozar, D. M., Bandwidth of reflectarrays, Electronics Letters, 39 (21), 1490-1491, 2003.
- Pozar, M. D., Targonski, S. D., Syrigos, H. D., Design of millimeter wave microstrip reflectarray, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 45, 286-295, 1997.
- Dieter, S., Fischer, C., Menzel, W., Single-Layer Unitcells With Optimized Phase Angle Behavior, 3rd European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP, Berlin-Germany, 1149-1153, 23-27 March, 2009.
- Chaharmir, M. R., Shaker, J., Cuhaci, M., Ittipiboon, A., Broadband reflectarray antenna with double cross loops, Electronics Letters, 42 (2), 65-66, 2006.
- Pozar, D. M., Metzler, T. A., Analysis of a reflectarray antenna using microstrip patches of variable size, Electronics Letters, 29 (8), 657-658, 1993.
- Han, C., Zhang, Y., Yang, Q., Single-Layer Reflectarray Antennas with Improved Bandwidth by Attaching Phase-Delay Lines, 10th European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP, Davos, Switzerland, 10-15 April, 2016.
- Arshad, M. K., Tahir, F. A., Rashid, A., Design of a Single Layer Reflectarray Unitcells Based on Hexagonal Ring for Wideband Operation, IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, APSURSI, Memphis, TN, USA, 6-11 July, 2014.
- Rouzbahani, S., Nezhad, A. Z., Ali, M. M., Design of Reflectarray with Cosecant Squared Radiation Pattern in X-band, 24th Iranian Conference on Electrical Engineering, ICEE, Shiraz, Iran, 10-12 May, 2016.

