

ULUSLARARASI 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ
VE DİJİTAL ENDÜSTRİ DERGİSİ

INTERNATIONAL JOURNAL OF 3D PRINTING
TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY

ISSN:2602-3350 (Online)

URL: <https://dergipark.org.tr/ij3dptdi>

FRAKTAL YAPILAR İLE YÜKSEK KAZANÇLI YANSITICI DİZİ ANTEN TASARIMI

DESIGNING HIGH GAIN REFLECT ARRAY ANTENNA WITH FRACTAL STRUCTURES

Yazarlar (Authors): Bulent Urul *

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Urul B., “Fraktal Yapılar ile Yüksek Kazançlı Yansıtıcı Dizi Anten Tasarımı” *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 6(3): 408-415, (2022).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.1147283

Araştırma Makale/ Research Article

Erişim Linki: (To link to this article): <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/archive>

FRAKTAL YAPILAR İLE YÜKSEK KAZANÇLI YANSITICI DİZİ ANTEN TASARIMI

Bulent Urul 

* Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, TÜRKİYE

* Sorumlu Yazar: bulenturul@isparta.edu.tr

(Received: 22.07.2022; Revised: 16.08.2022; Accepted: 29.11.2022)

ÖZ

Bu çalışmada fraktal yapılarla oluşturulan yüksek kazançlı yansıtıcı dizi anten tasarımı yapmak hedeflenmiştir. Bunun için ilk olarak altıgen fraktal yapısının 2. iterasyonu tasarlanmış ve yansıtıcı dizi anten de yansıtıcı birim hücre olarak kullanılmıştır. Fakat yeterli bir faz cevabı elde edilemediğinden ve buna bağlı olarak anten üzerinde eksik birim hücrelerin kalmasından dolayı bu birim hücre modifiye edilerek yeni bir yansıtıcı birim hücre tasarlanmıştır. Altıgen birim hücre ve bu birim hücrenin modifiye hali olan birim hücreler ile yeni bir yansıtıcı dizi anten tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan bu antenin üzerinde faz karşılığı olmayan eksik birim hücre kalmamıştır. Buna göre yeni antenin kazancı 21,6 dBi'dan, 23,1 dBi'ya yükselerek klasik altıgen birim hücrelerle oluşturulan antene göre 1,5 dBi artmıştır. Bu sonuç uygulanan yöntemin başarılı olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler : Fraktal Yapılar, Yansıtıcı Dizi Anten, Anten Kazancı.

DESIGNING HIGH GAIN REFLECT ARRAY ANTENNA WITH FRACTAL STRUCTURES

ABSTRACT

In this study, it is aimed to design a high-gain reflect array antenna with fractal structures. For this purpose, firstly, the second iteration of the hexagonal fractal structure was designed and the reflect array was used as the reflective unit cell on the antenna. However, since a sufficient phase response could not be obtained and accordingly missing unit cells remained on the antenna, this unit cell was modified and a new reflective unit cell was designed. A new reflective array antenna has been designed with the hexagonal unit cell and the unit cell, which is a modified version of mentioned unit cell. On this designed antenna, there is no missing unit cell without phase response. Accordingly, the gain of the new antenna increased from 21.6 dBi to 23.1 dBi, increasing by 1.5 dBi compared to the antenna built with classical hexagonal unit cells. This result shows that the applied method is successful.

Keywords: Fractal Structures, Reflect Array Antenna, Antenna Gain.

1. GİRİŞ

Son yıllarda mühendislerin ve akademisyenlerin birçok araştırmasında mikroşerit antenler ve bunların performansını artırıcı çalışmalar yapılmaktadır. [1,2]. Bu antenlerin tercih sebebi, düşük üretim maliyeti, ince ve hafif yapılabilmeleri, düzlemsel olarak üretilebilmeleridir. Mikroşerit yansıtıcı dizi anten (MYDA) yapıları da bu anten

çeşitlerindedir. MYDA'lar, bir huni anten ve bir düzlemsel bir mikroşerit anten yapısının beraber kullanımı ile elde edilmektedir. MYDA lar ile kullanılan huni antenler, yüksek yönlülüğü ve verimliliği, geniş bant genişliği, nedenleriyle uydu haberleşmesi, savunma sanayii ve radarlar alanında kullanılan en yaygın anten tiplerindedir. Ayrıca bu huni antenlerin dizi halinde kullanımı ile yüksek

kazançlı anten yapıları elde edilebilmektedir [3, 4].

Mikroşerit yansıtıcı dizi antenler, yüksek kazanç, düşük boyut, düşük maliyet ve imalatının basit olması avantajları nedeniyle son yıllarda 5G iletişim, uydu haberleşmesi gibi, birçok alanda dikkat çekmektedir [5-7]. Yansıtıcı dizi antenler (YDA), temel olarak gelen dalgayı istenilen noktaya doğru yönlendirmek prensibine dayanır. Antenin yüzeyi, antene göre tam merkeze veya farklı bir noktaya yerleştirilen bir kaynak anten ile beslenir. Bu şekilde anten, mikroşerit hatlar ile beslenmediği için, besleme hatlarından oluşan kayıplar önlenmiş olmaktadır. Bu anten yapıları iki boyutludurlar. Dolayısıyla basit ve buna bağlı olarak ta imalatları kolaydır. Normal yansıtıcı metal antenlerde, odaklama işlemi için metal yansıtıcının oval olarak tasarlanması ve odaklanma mesafesinin kürenin merkezine göre sabit olması gerekir. Buna karşın MYDA'lar iki boyutlu bir yapıya sahiptirler ve kaynağa göre istenilen ışınım noktası kolaylıkla ayarlanabilir[8,9].

Faz kompanzasyonu işlemi, anten üzerinde mikroşerit yama antenler ile yapılmaktadır. Bu yamalar farklı geometri ve büyüklükteki boyutları hesap edilerek dizayn edilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla tüm yüzey boyunca yerleştirilen yamaların geometrik modeline ve boyutlarına bağlı olarak yansıma fazı değiştirilip bir eş faz yüzeyi elde edilebilmektedir. Bunun için de yamaların geometrik modellerinin boyutlarına bağlı olarak değişiminin seçilen bir frekans için yüksek bir faz gereksimini karşılaması gerekir [10,11]. Fakat her yama şekli için bunun elde edilmesi mümkün olmamaktadır. Bu nedenle çok farklı geometrik modeller MYDA tasarımı kullanılmaktadır.

MYDA tasarımı yaparken ilk olarak yamaların tüm yüzeye yerleştirildiği farz edilir. Daha sonra her bir yamanın kaynağa olan uzaklığına bağlı olarak, gelen düzlemsel dalganın istenilen noktaya odaklanması için her bir yamanın bulunduğu koordinat noktası için yansıma fazının belirlenmesi gerekir. Yamaların yansıma faz değerleri, eğer anten için tek bir geometrik şekil kullanılacaksa sadece yama boyutları değiştirilerek basitçe ayarlanabilmektedir. Dolayısıyla belirlenen koordinattaki bir yamanın faz gereksimine

karşılık gelen yama boyutunun belirlenmesi gerekir. Bu işlem için elektromanyetik benzetim programları kullanılabilir. Tüm bu işlemlerden sonra farklı boyutlara sahip yamalar belirli koordinatlara yerleştirilerek istenilen noktaya yansıma yapan bir eş faz yüzeyi oluşturulmuş olur [12].

Yansıtıcı mikroşerit yamaları için kare, minkowski, penta, hexagonal gibi birçok farklı fraktal yapılar tercih edilmektedir [13,14]. Fraktal yapılar aslında orantılı yapılar anlamına gelmektedir. Bu yapılar bazı matematiksel hesaplar ile her bir yapının içine kullanılan matematiksel formülü ile orantılı olarak daha küçük boyutta yerleştirilir. İlk yapı 1. İterasyon ve diğer küçük orandaki yapıları ise 2., 3. iterasyonlar olarak ifade edilir ve sonsuza kadar küçültülebilir. Yansıtıcı dizi antenler üzerinde bu yapılar kullanılırken, şekil boyutlarına karşılık gelen yansıma faz değeri üzerindeki değişimler ve anten üzerinde kullanıldığında anten kazancı üzerindeki etkileri önem arz etmektedir. Bir fraktal yapının farklı iterasyonları boyutlarına göre farklı faz cevapları ve anten üzerinde kullanımı ile farklı kazanç değerleri verebilmektedir.

Bu çalışmada ise ilk olarak hexagonal yani altıgen fraktal yapısının 2. iterasyonu ve hexagonal yapının 1. ve 2. iterasyonlarının beraber kullanımı ile elde edilen yeni bir fraktal yapının faz cevapları ve MYDA kazancı üzerine etkisi kıyaslanacaktır.

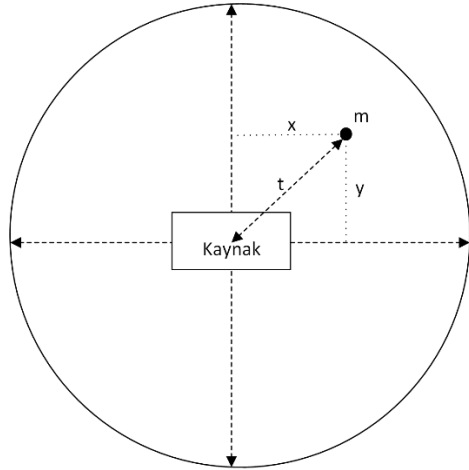
2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Mikroşerit Yansıtıcı Dizi Antenin Faz Gereksiminin Belirlenmesi

MYDA tasarımı yapılırken ilk olarak faz geciktirmesi yapacak elemanın anten alt taşı üzerindeki koordinatına bağlı olarak vermesi gereken yansıma faz değerinin belirlenmesidir. Bu işlem Şekil 1'de görülen yansıtıcı antenin üst ve yandan görülen yapıları kullanılarak hesap edilebilmektedir. Örneğin m noktasına yerleştirilen bir yamanın merkeze olan yamaya göre ΔF 'lik bir yol farkının hesaba katılarak faz tespitinin yapılması gerekir. Burada faz geciktirmesi yapacak olan elemanın boyutları (eğer tek bir geometrik yapı kullanılacaksa) elemanın yansıma fazını belirlemek için en önemli faktördür. Ayrıca kullanılan alt taşın cinsi, kalınlığı ve yine yamanın yüksekliği ve kullanılan metalin cinsi yansıma fazında farklılıklar ortaya koyacaktır.

Burada F mesafesi, huni antenin MDYA'nın tam merkez noktasına olan uzaklığı yani kaynağın yansıtıcı antene en yakın olduğu noktayı temsil etmektedir. Dolayısıyla tam merkeze yerleştirilen yamanın en çok geciktirme yapması gerekir. Çünkü huni antenden gelen küresel dalganın anten yüzeyine ulaştığı ilk nokta MDYA'nın tam merkezidir. Diğer noktadaki, özellikle kenar kısımlara yakın olan koordinatlardaki yama antenlerin dalganın alması gereken mesafe daha uzun olduğundan dolayı çok daha az gecikme yapması gerekir. Kaynağa en uzak mesafedeki yamanın faz gecikmesi ise hiç olmamalıdır.

MYDA üzerinde Şekil 1'de görüldüğü üzere m noktasına yerleştirilen bir yamanın yansıma faz gecikme hesabı yamanın alt taş üstünde x, y mesafelerine ve kaynak olarak kullanılan huni antenin yansıtıcı antene olan uzaklığına bağlıdır. Ayrıca yansıtıcı anten çapı olan D mesafesi de yine önemli bir parametredir. Burada giderilmesi gereken, antenin merkezi ile m noktasındaki yamanın ışınması arasındaki farkı ortaya koyan ΔF mesafesi hesabı için ilk olarak Denklem (1) ve Denklem (2) kullanılır. Ayrıca ΔF_{max} mesafesi de antenin tam



Şekil 1. Faz g için MYDA'nın üst ve yan görünüm geometrisi.

2.2. Klasik Altıgen Birim Hücre ve Yansıtıcı Dizi Anten Tasarımı

Bu çalışmada, ilk olarak Şekil 2'de görülen altıgen fraktal yapısının 2.itesasyonu birim hücre yapısı olarak seçilmiş ve tasarlanmıştır. Burada bu yapının tercih edilmesinin sebebi altıgen fraktal yapısının iterasyonlarının nasıl elde edilebileceğini de göstermektedir. Yapılan tüm çalışmalar CST elektromanyetik benzetim programı yardımıyla uygulanmaktadır. Benzetim programında sınır koşulları olarak

köşesindeki sıfır yansıma fazına sahip olması gereken mesafedir ki yine bu denklemler kullanarak hesaplanabilir.

$$t = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (1)$$

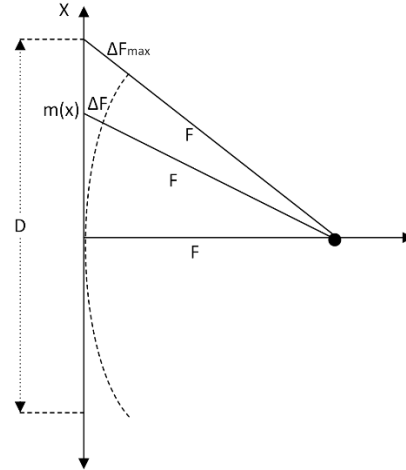
$$\Delta F = \sqrt{F^2 + t^2} - F \quad (2)$$

Antenin herhangi bir m noktasına yerleştirilen faz gecikme değeri (φ) aşağıdaki Denklem(2) ile hesaplanabilir.

$$\varphi = -\beta(\Delta F_{max} - \Delta F)$$

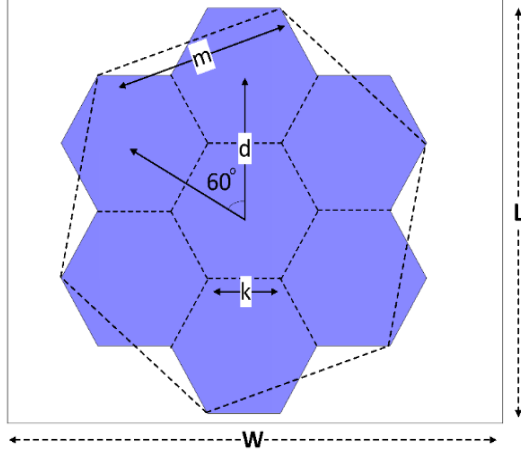
$$= -2\pi \frac{f}{c} (\Delta F_{max} - \Delta F) \quad (3)$$

Buradaki " f " frekansı, c ışık hızını ve " β " ortamın yol sabitini temsil etmektedir. Ayrıca buradaki eksi işareti gecikmeyi ifade etmektedir. Bu bilgiler ışığında YDA'nın boyut ve faz gecikmesi hesabı yapılabilmektedir. Daha sonra yamanın boyutlarına göre yansıma faz açısı değiştiğinden dolayı birim hücrenin ihtiyaç duyulan faz gecikme hesabı işlemi elektronik benzetim programı yardımıyla hesaplanmıştır.



tüm eksenler için open (add space) seçilmiştir. Ayrıca mesh özellikleri olarak her bir dalga boyu için hücre sayısı 10, doğruluk -60 dB seçilmiştir. Bu boyutlar için mesh sayısı 15491000 olarak belirlenmiştir. Birim hücrelerin alt taşı Taconic RF-35(lossy) malzemesi olarak tercih edilmiştir. Kayıp tanjantı 11 GHz frekansı için 0.0018'dir. Ayrıca $\epsilon = 3$ olarak tercih edilmiştir. Alt taşın zemini S21 (İletim) değerini minimuma indirmek için bakır metal ile kaplanmış, üst kısımda ise yine

yama bakır olarak tercih edilmiştir. Tek katmanlı birim hücre yapıları 11 GHz (X bandı) merkez frekansı için tasarlanmıştır. Burada 11 GHz (X bandı) tercih edilmesinin nedeni, klasik çanak antenlerin uydu haberleşmesinde kullanılması ve bizim de çanak antene karşılık yansıtıcı dizi anten tasarımı yapmayı hedeflememiz nedeniyledir. Şekil 2’de verilen birim hücrenin yapısal parametreleri Çizelge 1’de verilmiştir.



Şekil 2. Klasik altıgen (2.iterasyon) fraktal birim hücresi.

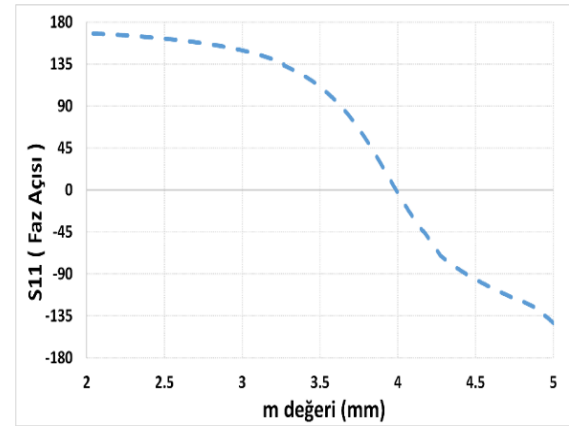
Çizelge 1. Altıgen birim hücre şekil parametreleri.

Parametreler	Birim (mm)
m	2-5 arası
k	$\sqrt{(1/7)} m$
d	$\sqrt{3}k$
Alttaş uzunluğu (L)	10
Alttaş genişliği (W)	12
Alttaş Kalınlığı	1.5
Metal kalınlığı	0,035

Birim hücre tasarımı yapılırken ilk olarak altıgen yapının Şekil 2’deki 1.iterasyonu (kesik çizgilerle verilmiş) kenar ölçüsü olan bir m değeri 2-5 mm arasında seçilir. Bu aralığın tercih edilmesinin nedeni 5 mm’den daha büyük değerler için alttaş ölçülerinin sınırlarını aşmaya başlamakta olması ve 2 mm’den daha küçük değerler için ise alttaş ölçülerine göre şeklin çok küçük olmasıdır. m değeri belirlendikten sonra altıgen yapının 2.iterasyon olan yapı için kullanılacak olan altıgenin kenar boyutu (k) , m değerinin $\sqrt{(1/7)}$ ile çarpılması ile

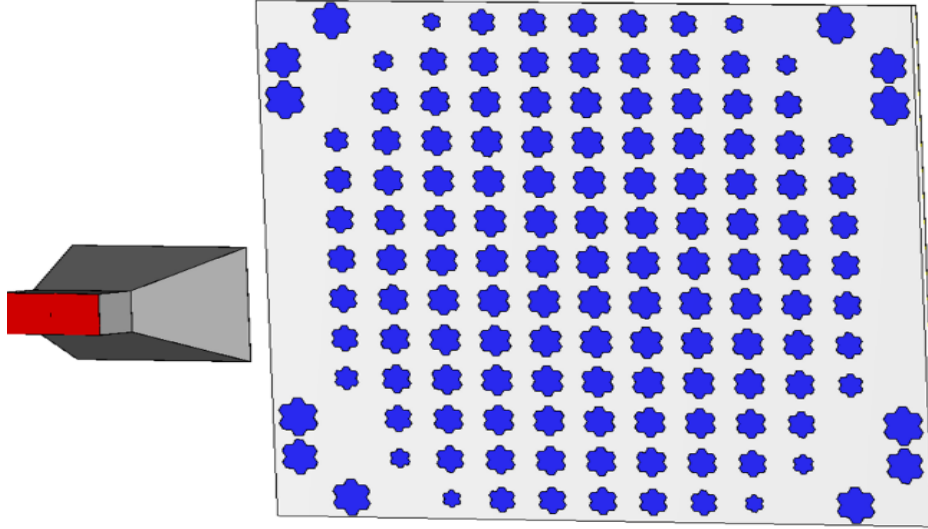
elde edilir. Daha sonraki adımda 2.iterasyon ile edilen altıgen yapı kopyalanarak d ($k \times \sqrt{3}$) kadar kaydırılır. Son adımda ise yeni altıgen yapı kopyalanarak 60° ‘lik açılar ile merkezde bulunan altıgen etrafında döşenir. Son olarak 7 tane altıgen yapı birleştirilerek altıgen fraktal yapının 2. iterasyonu elde edilir.

Birim hücre tasarım aşaması bittikten sonra yansıma faz açılarının seçilen m değerlerine karşılık geldiği değerleri belirlemek için m değeri CST elektromanyetik programının bir özelliği olan parameter sweep özelliği kullanarak 2-5 mm arasında 601 değer için benzetim programı çalıştırılır ve bu değerlere karşılık gelen yansıma faz açısı değerleri belirlenir. Elde edilen verilere dayanarak, m büyüklüğüne göre yansıma faz açısı grafiği Şekil 3’de verilmiştir.

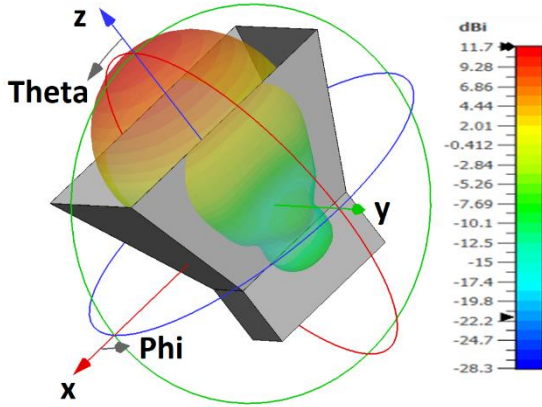


Şekil 3. m büyüklüğüne göre yansıma faz açısı grafiği

Şekil 3’deki grafik incelendiğinde m değerine karşılık gelen faz açısı değerleri $+168^\circ$ ile -142° açı değerleri arasında olduğu görülmektedir. Bu değerlerin dışında kalan değerler için faz karşılığı alınmadığından, tasarlanacak YDA’da bazı yansıtıcı birim elemanlar kullanılamamaktadır. Bu değerlere dayanarak Şekil 4’deki YDA elde edilmiştir. Burada kaynak olarak kullanılan huni anten tüm benzetim işlemlerinde kullanılan ortak antendir. Huni anten ağız açıklığı 28,28 mm - 42,02 mm’dir ve kazancı Şekil 5’de görüldüğü üzere 11 GHz’de 11,71 dBi’dir.

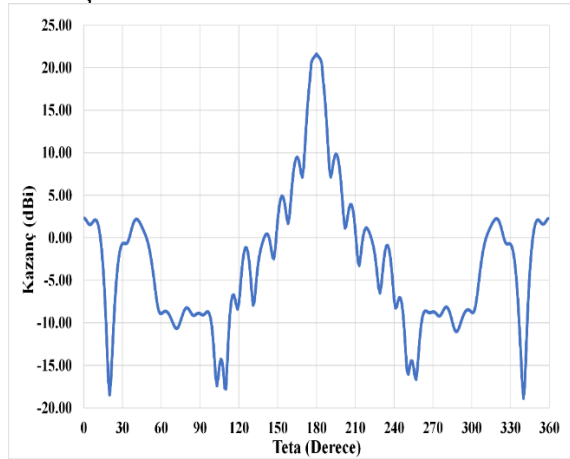


Şekil 4. Klasik altıgen (2.iterasyon) ile yapılan yansıtıcı dizi anten.



Şekil 5. Huni anten 3D kazanç grafiği

Şekil 4'te tasarlanan YDA'da altıtaş üstünde normal şartlarda 169 adet yama olması gerekirken, m değerine karşılık gelen faz karşılığı alınmadığından 30 adet yama kısmı eksik kalmıştır. YDA bu şekilde elektromanyetik benzetim programı ile simüle edildiğinde Şekil 5'deki kazanç grafiği elde edilmiştir.

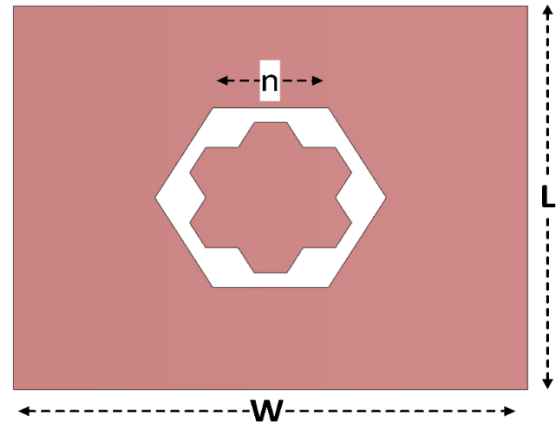


Şekil 6. Altıgen birim hücreli (2.iterasyon) YDA kazanç grafiği.

Şekil 6 incelendiğinde 11 GHz frekansı için YDA'nın iyi bir odaklanmaya sahip olduğu ve 11GHz'de 21,6 dBi'lık bir kazanç elde edildiği görülmektedir.

2.3. Modifiye edilmiş altıgen birim hücre tasarımı

YDA üzerinde faz karşılığı alınmadığından eksik kalan kısımları telafi etmek için altıgen birim hücresi ile yeni bir birim hücre tasarımı yapılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaçla Şekil 7'deki birim hücre şekli elektromanyetik benzetim programı yardımıyla tasarlanmıştır.



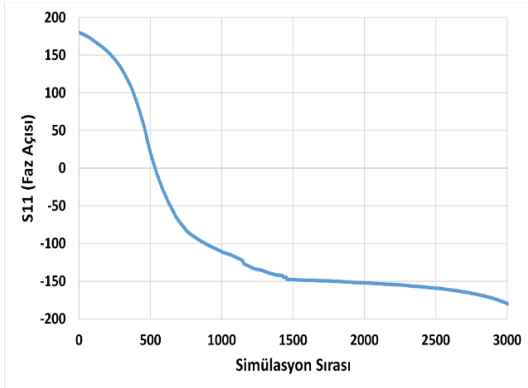
Şekil 7. Modifiye edilmiş birim hücre tasarımı.

Yeni birim hücre tasarımı, Şekil 7'de görüldüğü gibi altıgen birim hücre (1.iterasyon) dışında kalan alan metal yapı ile kaplanıp, eski birim hücre ortasına yerleştirilmesiyle elde edilmiştir. Tasarım yapılırken bir a değeri belirlenmiştir. Bu a değeri eski birim hücre ile yeni altıgen arasında bir boşluk oluşturmak için

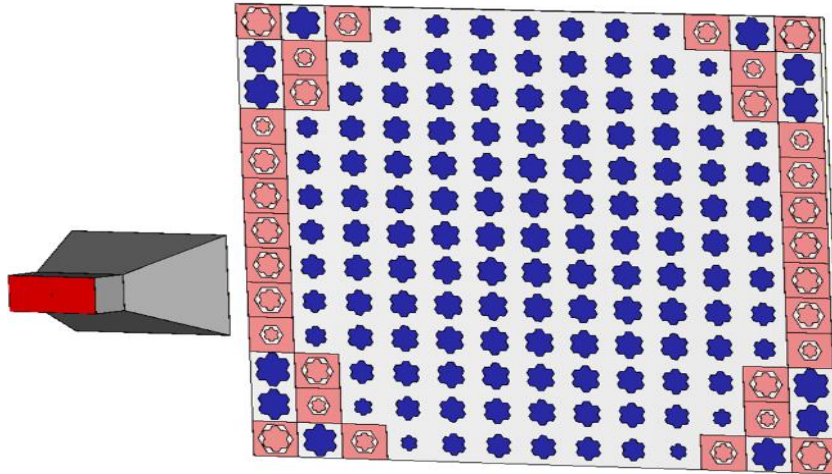
kullanılmaktadır. Ayrıca bu a değeri, sanal bir değer olduğundan dolayı Şekil 7 üstünde gösterilmemiştir. Şekil 7 üstünde kullanılan n değeri altıgenin (1.iterasyon) bir kenarını temsil etmektedir ve modifiye edilmemiş altıgen yapı arasında Denklem(4)'deki bağıntı vardır. Buradaki m, L ve W değerleri Şekil 2'de ve Çizelge 1'de verilmiştir.

$$m = n - a \quad (4)$$

Tasarlanan yeni birim hücre için, benzetim programı, a değeri 0,7-1,1mm arasında 5 değer için ve n değeri 2,7-5,7 mm arasında 601 değer için, toplamda 3005 kez çalıştırılmıştır. Benzetim işlemi sonucunda Şekil 7'de görüldüğü üzere yeni birim hücrenin n değerine karşılık -180° ile $+180^\circ$ arasında faz cevabı verdiği görülmektedir. Burada faz cevabı n ve a değerlerine bağlı olarak değiştiğinden dolayı Şekil 8'de benzetim sırasına karşılık gelen faz açısı grafiği verilmiştir.



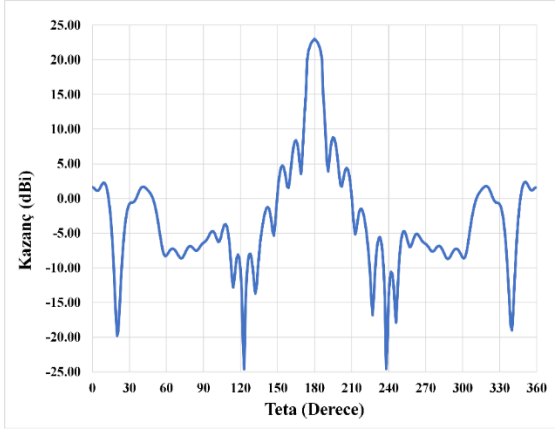
Şekil 8. Modifiye edilmiş birim hücrenin benzetim sırasına karşılık gelen yansıma faz açısı grafiği.



Şekil 9. Modifiye ve klasik altıgen ile oluşturulmuş YDA.

Elde edilen faz cevapları, klasik altıgen (2.iterasyon) birim hücreden elde edilemeyen faz açılarını da kapsadığından dolayı, daha önce yapılan YDA'da eksik kalan kısımlar telafi edilebilmektedir. Buna göre tasarlanan yeni YDA tasarımı Şekil 9'da verilmiştir. Burada anten üzerinde tüm birim hücrelerin modifiye edilmiş yeni birim hücre ile oluşturulmamasının sebebi, yeni birim hücrenin tasarım zorluğundan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle sadece ilk yapılan YDA'dan eksik kalan kısımlar, modifiye edilmiş yeni birim hücrelerle doldurulmuştur.

Tasarlanan yeni YDA elektromanyetik benzetim programı ile simüle edilmiş ve Şekil 10'daki kazanç grafiği elde edilmiştir.



Şekil 10. Modifiye edilmiş birim hücrelerle oluşturulmuş YDA.

Şekil 10'da görüldüğü üzere modifiye edilmiş birim hücrelerle oluşturulmuş YDA'nın 11 GHz frekansında yoğunlaşarak odaklanma yaptığı görülmektedir. Kazancın en yüksek olduğu noktadaki kazanç 23,1 dBi olarak elde edilmiştir.

3. BENZETİM SONUÇLARI

Burada Şekil 2'de görülen fraktal yapı ve bu yapının modifiye edilmiş hali simüle edilerek test edilmiştir. Tasarlanan birim hücrelerin yansıma faz cevapları ve bu birim hücreler ile tasarlanan YDA'ların 11 GHz'deki kazançları Çizelge 2'de verilmiştir.

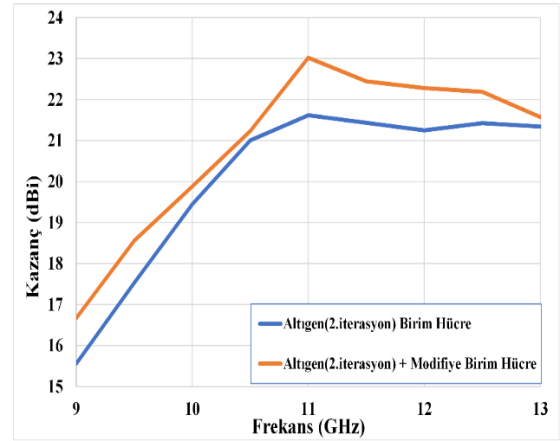
Çizelge 2 ve Şekil 3'den görüleceği üzere klasik altıgen fraktal yapısının şekil parametrelerinin değiştirilmesiyle tam bir daire boyunca faz cevabı alınamamıştır. Bu nedenle bu yapının Şekil 8'de görüldüğü üzere modifiye edilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Yeni elde yapıdan Şekil 7'de görüldüğü gibi -180° ile $+180^{\circ}$ arasında bir faz cevabı alınmıştır. Bu durum bu birim hücre ile YDA tasarlanırken, anten üstündeki tüm noktaların faz gereksiminin karşılanabileceği ortaya koymuştur.

Bunun yanında yeni elde edilen modifiye edilmiş birim hücrenin her bir parçası tek tek tasarlanması gerektiğinden dolayı, elektromanyetik benzetim programı ile tasarlanması, ilk yapıya göre oldukça zordur. Bu nedenle sadece modifiye edilmiş birim hücre ile yapılan YDA yerine, iki yapının beraber kullanımı ile yapılmış bir yansıtıcı anten tasarlanması zaman ve iş gücü kaybını önlemek açısından önemlidir.

Çizelge 2. Birim hücrelerin yansıma faz cevap aralıkları.

Birim Hücre	Yansıma Faz Açısı aralığı	Kazanç
Altıgen Birim Hücre	-168° ile $+142^{\circ}$ arası	21,6 dBi
Modifiye Edilmiş Birim Hücre	-180° ile $+180^{\circ}$ arası	23,1 dBi

Bu birim hücreler ile yapılan YDA'ların 11GHz'deki kazançları Çizelge 2'de görüldüğü üzere sırayla 21,6 dBi ve 23,1 dBi olarak elde edilmiştir. Bunun yanında 9 GHz - 13 GHz arasında yapılan geniş band kazanç grafiği Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. Geniş band YDA kıyas grafiği.

Şekil 11 incelendiğinde tüm band boyunca modifiye edilmiş birim hücreler ile yapılmış YDA'nın kazanç noktasında daha üstün olduğu görülmektedir. Özellikle hedef frekansımız olan 11 GHz frekansında 1,5 dBi daha üstün olduğu görülmektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada yüksek kazançlı YDA tasarımı yapılması hedeflenmiştir. Bunun için ilk olarak altıgen fraktal yapısının 2.iterasyonu YDA'nın birim hücresi olarak elektromanyetik benzetim ortamında tasarlanmış ve faz cevabı benzetim sonucunda elde edilmiştir. Bununla birlikte elde edilen bu birim hücre yeterli bir faz cevabı veremediğinden dolayı tasarlanan YDA üzerinde bazı noktalara birim hücre eklenememiş ve 11 GHz hedef frekansında 21,6 dBi'lık bir kazanç elde edilmiştir. Bu handikabı çözmek için altıgen birim hücre modifiye

edilerek tüm noktalardaki faz gereksimini karşılayabilecek yeni bir birim hücre tasarlanmıştır. Daha sonra altıgen birim hücre ve bu birim hücrenin modifiye edilmiş hali ile tasarlanan yeni YDA üzerinde eksik birim hücre kalmamış ve anten kazancı 23,1 dBi olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada tüm band boyunca faz cevabı verebilen birim hücrelerin geliştirilmesiyle YDA'lerin kazancı noktasında artış sağlanabileceği ortaya konulmuştur.

KAYNAKLAR

1. Tütüncü, B., Torpi, H. and Urul, B., "A comparative study on different types of metamaterials for enhancement of microstrip patch antenna directivity at the Ku-band (12 GHz)", Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences, Vol. 26, Issue 3, Pages 1171-1179, 2018.
2. Tütüncü, B. and Urul, B., "LHM superstrate for high directivity microstrip antenna", Celal Bayar University Journal of Science, Vol. 15, Issue 1, Pages 71-74, 2019.
3. Genç, A., Başıyigit, İ. B., Çolak B. and Helhel, S., "Investigation of the characteristics of low-cost and lightweight horn array antennas with novel monolithic waveguide feeding networks", AEU - International Journal of Electronics and Communications, Vol. 89, Issue 1, Pages 15-23, 2018.
4. Genç, A., "Gain Increase of Horn Antenna with Waveguide Feeding Network by using 3D Printing Technology", Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt 2, Sayı 1, Sayfa 17-25, 2019.
5. Terki, A. B., Nedil, M., Hettak, K. and Shaker, J., "Reflectarray antenna design using hexagonal shape unit cells for 5G application", In 2018 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting , IEEE, Pages 1639-1640, 2018.
6. Dahri, M.H., Jamaludda, M.H. and Abbasi M.I., "A review of high gain and high efficiency reflectarrays for 5G communications", IEEE Access, Access 6, Pages 5973-5985, 2017.
7. Huang, J. and Encinar, J., "Reflectarray Antennas", Wiley-IEEE Press, New York, USA, 2008.
8. Zubir, F., Rahim, M.K.A., Ayop, O., Wahid , A., and Majid, H. A., "Design and analysis of microstrip reflectarray antenna with minkowski shape radiating element," Progress in Electromagnetics Research B, Vol. 24, Pages 317–331, 2010.
9. Huang, J. and Pogorzelski, R.J., "A ka-band microstrip reflectarray with elements having variable rotation angles," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 46, Issue 5, Pages 650–656, 1998.
10. Lingasamy, V. and Selvan, K. T., "A comparison of planar convex dielectric lens loaded flat reflector with parabolic reflector and reflectarray", Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 61 Issue 11, Pages 2500-2505, 2019.
11. Keyghobad, K., and Homayoon O., "Phase Response of Microstrip Reflectarray Elements by FDTD Analysis", Workshop on Computational Electromagnetics in Time-Domain, IEEE, Pages 1-3, 2007.
12. Berry, D., Malech, R. and Kennedy, W., "The reflectarray antenna", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 11, Issue 6, Pages 645-651, 1963.
13. Costanzo, S., Venneri, F., Di Massa, G., Borgia, A., Costanzo, A. and Raffo, A., "Fractal reflectarray antennas: state of art and new opportunities", International Journal of Antennas and Propagation, Article ID 7165143, Pages 17, 2016.
14. Nesil, S., Güneş, F. and Kaya, G., "Analysis and design of X-band Reflectarray antenna using 3-D EM-based Artificial Neural Network model", In 2012 IEEE International Conference on Ultra-Wideband, IEEE, Pages 532-536, 2012.