

ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ  
KOORDİNASYON BİRİMİ KOORDİNATÖRLÜĞÜNE

Proje Türü : Hızlandırılmış Destek Projesi (HDP)  
Proje No : 15H0443004  
Proje Yöneticisi : Doç. Dr. Asım Egemen Yılmaz  
Proje Başlığı : Yapay Manyetik İletkenlerin Karakterizasyonu

Yukarıda bilgileri yazılı olan projemin kesin raporunun e-kütüphanede yayınlanmasını;

ST YORUM

STEM YORUM  GEREKÇESİ :

..... / ..... / 20  
Doç. Dr. Asım Egemen Yılmaz

ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ  
SONUÇ RAPORU

Yapay Manyetik İletkenlerin Karakterizasyonu

Doç. Dr. Asım Egemen Yılmaz

15H0443004

29.05.2015 - 29.12.2015

25.02.2016

Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri  
Ankara - 2016

**I. Projenin Türkçe ve İngilizce Adı ve Özetleri**

**Türkçe Adı** : Yapay Manyetik İletkenlerin Karakterizasyonu

**İngilizce Adı** : Characterization of Artificial Magnetic Conductors

Yapay manyetik iletkenler do ada element, bile ik ya da ala ım formunda bulunmayan; ancak inhomojen (elektriksel olarak iletken ve yalıtkanların bir arada bulundu u) unsurlardan elde edilen yapılardır. Bir yapay manyetik iletkenin temel olarak bir antenin altına dö enerek ilgili antenin kazancını artıracak ekilde (pozitif) giri ime yol açması beklenmektedir.

Proje kapsamında, özellikle ticari haberle me amacıyla yo unluklu kullanılan ve GSM, Wi-Fi, Bluetooth gibi yaygın kullanımlı sistemleri de kapsayan 800MHz - 4.5GHz frekans bandı içerisindeki spesifik frekanslarda yapay manyetik iletken özelli i gösteren özgün yapıların önerilmesi amaçlanmı ve bu amaca yönelik çalı malar gerçekleştirilmiştir.

Projedeki geli tirme süreci uyarınca önerilen yapıların elektromanyetik özellikleri, CST Studio Suite ve Ansoft HFSS simülasyon programları ile incelenmiştir. CST Studio Suite ve Ansoft HFSS paket programlarında gerçekleştirilen simülasyonlar kapsamında gerçekleştirilen faaliyetler u ekilde özetlenebilir:

- Önerilen yapılar modellenerek, bu yapıların frekans domain'i analizleri yapılmı , yansıma katsayılarının argümanları incelenmiştir. Yansıma katsayısının argümanının +/-90 derece arasında de er aldığı bölgede, yapının yapay manyetik iletken özelli i gösterdiği bant olarak belirlenmiştir. Özellikle literatürde yapılan çalı malarda da belirtildi i gibi +/-45 derece arasında olması daha kesin sonuçlar verdi inden bu de erler e it de eri belirlenmiştir ve bant geni likleri buna göre belirlenmiştir. Yapının fiziksel özellikleri (geometrik ve malzeme özellikleri) de i tirilerek yapay manyetik iletken özelli i gösterdiği bant, hedeflenen frekans bandına çekilmi , farklı boyut, malzeme ve ekillerde AMC önerileri sunulmu tur.

-Yapay manyetik iletken özelli i gösteren yapı, ilgili frekansta çalı an tipik bir antenin altına dö enerek söz konusu antenin kazancının ne ekilde etkilendi ine dair simülasyonlar gerçekleştirilmiştir, yama antene bu yapıların etkisi incelenmiştir. Burada, altına yapay manyetik iletken dö enmiş anten ile altına yapay manyetik iletken dö enmemiş anten arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Karşılaştırmalarda kazanç, yönlülük ve uzak alan gibi parametreler dikkate alınmıştır.

Simülasyon programları ile incelenen yapılar arasından umut vaat edenlerin prototipleri üretilmek üzere gerber çıktıları alınmıştır laboratuvar ortamında ölçüm düzenekleri hazır hale getirilmiştir. Ölçüm faaliyetleri de u ekilde gerçekleştirilecektir:

Network Analyzer (üst çalı ma frekansı 13.6GHz), dalga kılavuzları, geni bant antenler, sinyal üreteçleri, ortam yansımalarını önleyici so urucu malzemeler, ganyometre vb. teçhizatları olan deney düzene i ile gerçekleştirilecek olan laboratuvar çalı malarında da ilgili yapıların elektromanyetik özellikleri incelenerek benzetim sonuçları do rulanacaktır. Tüm bunların yanı sıra tasarlanacak yapıların ömür döngüleri çerçevesinde paslanma, yıpranma, ısı etkileriyle bozulma gibi durumlar sonrasında performansının ne ekilde etkilenece ine dair simülasyonlar ve ölçümler de yapılacaktır. Bir ba ka deyi le, bu a amada söz konusu yapıların a ırlık, maliyet, di etkilere (kir, oksidasyon, korozyon vb.) karşı dayanıklılık, kolay üretilebilirlik, vb. özellikleri de detaylı olarak incelenmiştir olacaktır.

Proje kapsamında 1'i SCI-E yayını, 5'i yurtdı nda uluslararası hakemli konferans ve 3'ü de ulusal hakemli konferans olmak üzere 9 yayında proje çıktısı olarak sunulmu tur.

#### Abstract

Artificial magnetic conductor elements, which are inhomogeneous (where a mix of electrically conductive and insulator) structures, does not exist in nature, but can be derived from elements in the form of compounds or alloys. An artificial magnetic

conductor can mainly used for improving the antenna gain by laying at the bottom of the antenna.

In this project, densely used commercial communication-frequencies such as GSM, Bluetooth and Wi-Fi considered and artificial magnetic conductor structures have been designed for those specific frequencies. The studies have been conducted at frequencies between 800MHz - 4.5GHz.

Electromagnetic properties of the proposed structures have been analysed via simulation programs called Ansoft HFSS and CST Studio Suite. The activities carried out within the scope of the project can be summarized as follows:

- Recommended structures modeled, frequency domain analysis have been completed and the arguments of the reflection coefficient have been examined. The interval where the argument of the reflection coefficient values changes between  $+/- 90$  degrees is achieved to be act as they are artificial magnetic conductors. In particular, as noted in the studies in the literature, these values are determined to be in between  $+/-45$  degrees interval for providing better accuracy and provide accurate bandwidth. The physical properties of the structure including geometry and material properties are optimized to obtained desired frequency and bandwidth values. Different structures have been presented having different sizes, materials and shapes for various frequency bands.

-In order to analyze the effects of AMC to antenna performance; artificial magnetic conductors located under an antenna structure and the effects of the AMC evaluated in terms of gain, directivity and far field pattern. The simulations conducted via CST Studio Suite and comparisons have been performed with the AMC loaded and not loaded antennas.

Promising Simulation results are considered to be manufactured and measured in laboratory. In order to manufacture the proto types the gerber output files have been obtained after simulation process. The measurement set up is prepared as in the following;

A measurement setup consists of Network Analyzer (upper operating frequency 13.6ghz), waveguides, broadband antennas, signal generators, absorbent materials etc. prepared for examining the electromagnetic properties of the relevant structures in laboratory studies. By that way, the simulation results will be compared by the life cycle of the structures will be analyzed as well as corrosion and heat effects. In other words, the weight of aforementioned structure will be evaluated in terms of external effects such as dirt, oxidation, corrosion, easy producibility, and so on. Characteristics will be examined in detail.

By the project, it is achieved to contribute 9 publications including; 1 SCI-E journal paper, 5 international refereed conference and 3 national refereed conference publications.

## II. Amaç ve Kapsam

Daha önce de belirtildiği üzere, yapay manyetik iletkenler (aynen bir gaz lambasının arkasına konulan bir aynanın aydınlatma miktarını artırdığı gibi) bir antenin altına döneren ilgili antenin kazancını artıracak şekilde (pozitif) girişime yol açmaktadırlar. Bu da aynı çıkış gücüne sahip anten ile daha fazla veya daha etkin çalışma yapılmasını sağlamaktadır. Antenlerin enerji tüketiminin önemli olduğu hareketli platformlarda, hatta insan vücudu üzerinde bile kullanılmaya başlandı. Günümüzde enerji verimliliği de sağlayacak bu tarz yapıların üretimi, büyük önem arz etmektedir.

Proje kapsamında, özellikle ticari haberleşme amacıyla yaygın kullanılan ve GSM, Wi-Fi, Bluetooth gibi yaygın kullanımlı sistemleri de kapsayan 800MHz - 4.5GHz frekans bandı içerisindeki spesifik frekanslarda yapay manyetik iletken özelliği gösteren özgün yapıların geliştirilmesi hedeflenmiştir ve bu frekans aralığı için yapı önerilerinde bulunulmuştur.

Prof. Dr. Barış AKAO LU'nun yürütücülüğünde tamamlanmış olan 13B4343015 numaralı BAP projemizde iki veya periyodik boyutlu yapıların metamalzeme ve fotonik kristal özelliklerine dair analizler ve tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Söz konusu projede halihazırda prototip üretimler hizmet alımı şeklinde OSTİM, GERSAN veya Gebze Organize Sanayi Bölgesi'ndeki firmaları yaptırılmaktaydı. Ürettirilen prototip sayısı az olduğu için firmalar üretime yanaşmamakta veya çok yüksek fiyat teklifi vermekte, üretim takviminde seri üretim siparişlerine öncelik verip bizim siparişlerimizi geriye atmaktaydı. Bu nedenle proje başında amaçlandığı gibi bu üretimleri çok hızlı ve hassas şekilde olmasa da yapabilecek olan cihaz (mini CNC pantograf cihazı) hızlı destek kapsamında temin edilerek laboratuvara kurulumu gerçekleştirildi. Sonrasında temin edilen plakalar üzerine kazım işlemlerine başlanıldı.

## III. Materyal ve Yöntem

Projedeki geliştirme süreci uyarınca önerilecek yapıların elektromanyetik özellikleri, CST Studio Suite (Sonlu Elemanlar Yöntemi) ve Ansoft HFSS (Sonlu Elemanlar Yönetimi)'de yapıldığı ve simülasyonlar ile incelendi. CST Studio Suite ve Ansoft HFSS paket programlarında gerçekleştirilen simülasyonlar kapsamında yapılan faaliyetler şu şekilde özetlenebilir:

- Önerilen yapılar modellenerek, bu yapıların frekans domain'i analizleri gerçekleştirildi. Yansıma ve iletim karakteristiklerinin yanı sıra yansıma katsayılarının argümanları incelenerek yapay manyetik iletken özellik gösterip göstermediği incelendi.

Yansıma katsayısının argümanının +/-90 derece arasında değiştiği bölge, yapının yapay manyetik iletken özelliği gösterdiği bant olarak belirlendi. Yapının fiziksel özellikleri (geometrik ve malzeme özellikleri) değiştirilerek yapay manyetik iletken özelliği gösterdiği bant istenilen ve elektromanyetik kirliliğinin yoğun olduğu bölgeye çekildi.

-Yapay manyetik iletken özelliği gösteren yapı, ilgili frekansta çalışacak bir antenin altına döneren söz konusu antenin kazancının ne şekilde etkilendiğine dair simülasyonlar bir yama anten modelinden yola çıkılarak gerçekleştirildi. Farklı boyutlardaki dizi AMC yapıları kullanılarak altına yapay manyetik iletken dönmeli anten ile altına yapay manyetik iletken dönmeli anten arasında karşılaştırmalar gerçekleştirildi. Yapının kazanç yönlülük gibi parametrelere etkisi incelenerek sonuçları sunuldu.

Simülasyon programları ile incelenen yapılar arasından umut vaat edenlerin prototiplerinin üretimi için mini CNC pantograf cihazı temin edilerek kurulumu gerçekleştirildi. Cihaz ile üretim denemelerine başlandı. Elde edilen bu birim ile Network Analyzer (üst çalışma frekansı 13.6GHz), dalga kılavuzları, geniş bant antenler, sinyal üreteçleri, ortam yansımalarını önleyici soğurucu malzemeler, ganyometre vb. teçhizatın oluşturan deney düzeneği ile gerçekleştirilecek olan laboratuvar çalışmaları da ilgili yapıların elektromanyetik özellikleri incelenerek simülasyon sonuçları doğrulanacaktır. Tüm bunların yanı sıra tasarlanacak yapıların ömür döngüleri çerçevesinde paslanma, yıpranma, ısıl etkilerle bozulma gibi durumlar sonrasında performansının ne şekilde etkileneceğine dair simülasyonlar ve ölçümler de yapılacaktır.

#### IV. Analiz ve Bulgular

- 1 Sultan Can, Asim Egemen Yılmaz, “Reduction of Specific Absorption Rate with Artificial Magnetic Materials”, International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, (accepted)
- 2 Sultan Can, Asim Egemen Yılmaz, “Reduction of Specific Absorption Rate with Artificial Magnetic Materials”, International Conference on Electromagnetic Compatibility, EMC 2015, stanbul, 2-4 September 2015, (First Rank of Felsen Best Paper Award)
- 3 Sultan Can, Asim Egemen Yılmaz, “ Radar Cross Section Reduction of a Plate with Textile -Based Single Negative Metamaterial”, EUCAP 2016 (kabul edildi)
- 4 Sultan Can, Asim Egemen Yılmaz, “Hexagon Shaped Metamaterial-Loaded Antenna for Ku Band Applications”, ELECO 2015, Bursa, 26-28 November 2015.
- 5 Ça la Metin, Sultan Can, A. Egemen Yılmaz “Konformal Frekans Seçici Yüzey Tasarımı”, SIU 2016,Zonguldak,Türkiye (halen de erlendirmede)
- 6 Emrullah Karakaya, Cenk Mülazımo lu, Sultan Can, A. Egemen Yılmaz, Barı Akao lu, “Enerji Hasatı Uygulamalarına Yönelik Metamalzeme Tasarımı”, SIU 2016,Zonguldak,Türkiye (halen de erlendirmede)
- 7 Naz Alpaslan, Sultan Can, A. Egemen Yılmaz “Konformal Anten Tasarımı”, SIU 2016,Zonguldak, Türkiye (halen de erlendirmede)
- 8 Sultan Can, Asim Egemen Yılmaz, “ Glass-Based Tunable Single Negative Metamaterial for X-Band Applications”, International Congress on Advanced Electromagnetic Materials in Microwaves and Optics – Metamaterials 2016 Crete, Greece, 17-22 September 2016 (halen de erlendirmede)
- 9 Cenk Mülazımo lu, Emrullah Karakaya, Sultan Can, A. Egemen Yılmaz, Barı Akao lu,” Hexagonal-Shaped Metamaterial Energy Harvester Design” 10th International Congress on Advanced Electromagnetic Materials in Microwaves and Optics – Metamaterials 2016 Crete, Greece, 17-22 September 2016 (halen de erlendirmede)

Proje kapsamında 1’i SCI-E yayın, 5’i yurtdı nda uluslararası hakemli konferans ve 3’ü de ulusal hakemli konferans olmak üzere 9 yayın da proje çıktısı olarak sunulmu tur.

1 numaralı ve 2 numaralı yayında; International Conference on Electromagnetic Compatibility, EMC 2015 kapsamında elektromanyetik dalganın insan vücuduna etkisinin incelendi i çalı ma en iyi makale ödülünü alarak konferansta yayınlanmasının ardından seçilen makaleler ile ikinci bir hakem de erlendirmesinden sonra SCI-E indeksli bir dergi olan International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering dergisine kabul almı tur. Bu çalı malarda 1-4GHZ aralı nda yapay manyetik iletken özelli i gösteren malzeme önerilmi bu malzemenin düzlemsel, silindirik ve fantom ba modellerine elektromanyetik dalga etkisini azaltıcı etkisi incelenmi tir. Yapının özgül so urma oranını azaltması incelenerek farklı senaryolar için de erler gözlenmi , CST studio kullanılarak benzetimleri gerçekleştirilmi tir.

3 numaralı yayında; Radar Kesit alanını dü ürmeğe yönelik tasarlanan tekstil tabanlı metamalzeme ile plaka ekindeki metal yapının radar kesit alanı dü ürülmü tür. Tekstil malzemesi alt ta tan olu an bu malzemeye ait empedans de eri hava ile uyumlu olacak ekilde tasarlanmı tur. Tek metal plakanın 430mm<sup>2</sup> oldu u radar kesit alanı malzemenin kullanımı ile 304mm<sup>2</sup> kadar dü ürülmü tür. 29% dü ü bu malzeme kullanımı ile sa lanmı tur.

4 numaralı yayında; Bu çalı mada Ku bant bir yama antenin performansını arttırmaya yönelik yine aynı bantta tek ve çift negatif özelli e sahip metamalzeme tasarımı yapılmı tır. İlk etapta birim hücre modeli tasarlanarak elde edilen bu metamalzeme sonrasında 1×4 ve 2×4 lük diziler yardımı ile çoklanmı ve anten performansına etkisi gözlenmi tir. Tek negatif malzemeler her 2 dizi boyutunda da, anten besleme ucuna konumlandırarak antene ait frekans, kazanç ve yönlülük gibi performans parametreleri incelenmi , sonrasında çift negatif metamalzeme ile de incelemeler gerçekleştirilmi tir. Sonuçlara göre çift negatif antenin verimlilik de erinde %10 kadar artı olurken yönlülük ve kazanç de erlerindeki artı sırasıyla 0.04dB ve 0.27dB olarak gözlenmi tir.

5 numaralı yayında; Bu çalı mada 5,8GHz frekansında konformal bir frekans seçici yüzey önerilmi aynı boyutta düzlemsel dizisi ile kıyasla bant geni li i ve frekansında kayda de er bir de i iklik olmadan iyi bir performans elde edilmi tir. Sunulan yapının uyumlandırıldı ı küresel yüzeyin yarıçapına ba lı analizler de gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar sunulmu tur.

6 numaralı yayında; Bu makalede son yıllarda yo un ilgi gören metamalzemelerin enerji hasatına yönelik tasarımı yapılmı tır. Çalı mada RF enerji hasatı hedeflenmi , havada serbest olarak yayılan elektromanyetik dalgaların sahip oldu u enerjilerin uygun donanımlarla toplanarak yüksek verimde elektrik enerjisine çevirime yönelik metamalzeme tasarımı gerçekleştirilmi tir. Birim hücre geometrik ve malzeme özelliklerine ve kullanılan direnç de erine ba lı olarak %90 üzerinde verim elde edilmi tir.

7 numaralı yayında; Konformal Anten Tasarımı gerçekleştirilmi olup ileride tasarlanması planlanan konformal AMC yapıların anten performansına etkisi incelenece inde kullanılabilir olarak anten elde edilmi tir. Bu çalı mada 1,8 GHz konformal bükülebilir dikdörtgen mikro erit yama anten tasarımı gerçekleştirilmi tir. Konformal anten tasarımı kendi boyutlarındaki düzlemsel bir mikro erit yama anten tasarımı ile kıyaslanarak sonuçlar sunulmu tur. Önerilen tasarıma ait benzetim çalı maları CST Microwave Studio programında gerçekleştirilmi tir. Her iki antene ait yansıma parametreleri, yönlülük, kazanç ve uzak alan örüntüsü incelenerek kıyaslanmı tır. Önerilen konformal anten ile 1.8GHz frekansında 6.24dBi yönlülük, 5.46dB kazanç ve %89 verimlilik de eri elde edilmi tir.

8 numaralı yayında; Bu çalı mada cam tabanlı X-Bant uygulamalarına yönelik frekans seçici yüzey tasarımı gerçekleştirilmi bu yapıların AMC yapılar tasarlanmasına yönelik gerekli birikim elde edilmi tir. Elektrik geçirgenlik katsayısı 4.92 olan borcam tabanlı malzeme kullanılarak gerçekleştirilen bu çalı mada X-bantta filtreleme sa lanırken görünür bölgede 1 1 1 geçirgen bir yapı elde edilmi tir. Sunulan çalı mada dielektrik alt ta üzerine üçgen ekilli iletken yapılar farklı sayıda rezonansa sebep olmakta çoklu frekanslar elde edilebilmektedir. Gerçekleştirilen benzetimler CST ile yapılmı olup, parametrik analizler Szabo algoritması ile gerçekleştirilmi tir.

9 numaralı yayında; Bu çalı mada çift altıgen yapı ve bu altıgen yapılar arasına yerleştirilen direnç ile hasatı yapılması muhtemel güce yönelik analizler yapılmı tır. Klasik SRR ve AMC yapılarına benzer ekillerde gerçekleştirilen ve dielektrik alt ta üzerine altıgen patern kazınması ile gerçekleştirilmi tir. Elde edilen yapıda verimlilik analizleri gerçekleştirilmi ve %90 üzerinde verim elde edilmi tir. Farklı direnç de erleri ve farklı geometrik özellikler için analizler gerçekleştirilmi tir.



## V. Sonuç ve Öneriler

Daha önce de belirtildiği üzere proje kapsamında 1'i SCI-E yayın, 5'i yurtdışı ulusal hakemli konferans ve 3'ü de ulusal hakemli konferans olmak üzere 9 yayın da proje çıktısı olarak sunulmuştur.

1 numaralı ve 2 numaralı yayında; International Conference on Electromagnetic Compatibility, EMC 2015 kapsamında elektromanyetik dalganın insan vücuduna etkisinin incelendiği çalışmada en iyi makale ödülünü alarak konferansta yayınlanmasının ardından seçilen makaleler ile ikinci bir hakem de erlendirmesinden sonra SCI-E indeksli bir dergi olan International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering dergisine kabul almıştır. Bu çalışmalarda 1-4GHz aralığında yapay manyetik iletken özelliği gösteren malzeme önerilmiştir. Bu malzemenin düzlemsel, silindirik ve fantom bant modellerine elektromanyetik dalga etkisini azaltıcı etkisi incelenmiştir. Yapının özgül soğurma oranını azaltması incelenerek farklı senaryolar için de erler gözlenmiştir, CST studio kullanılarak benzetimleri gerçekleştirilmiştir.

3 numaralı yayında; Radar Kesit alanını düşürmeye yönelik tasarlanan tekstil tabanlı metamalzeme ile plaka eklemindeki metal yapının radar kesit alanı düşürülmüştür. Tekstil malzemesi alt taban olan bu malzemeye ait empedans de eri hava ile uyumlu olacak şekilde tasarlanmıştır. Tek metal plakanın 430mm<sup>2</sup> olduğu radar kesit alanı malzemenin kullanımı ile 304mm<sup>2</sup> kadar düşürülmüştür. 29% düşüş bu malzeme kullanımı ile sağlanmıştır.

4 numaralı yayında; Bu çalışmada Ku bant bir yama antenin performansını arttırmaya yönelik yine aynı bantta tek ve çift negatif özelliğe sahip metamalzeme tasarımı yapılmıştır. İlk etapta birim hücre modeli tasarlanarak elde edilen bu metamalzeme sonrasında 1×4 ve 2×4 lük diziler yardımı ile çoklanmıştır ve anten performansına etkisi gözlenmiştir. Tek negatif malzemeler her 2 dizi boyutunda da, anten besleme ucuna konumlandırılarak antene ait frekans, kazanç ve yönlülük gibi performans parametreleri incelenmiştir, sonrasında çift negatif metamalzeme ile de incelemeler gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara göre çift negatif antenin verimlilik de erinde %10 kadar artı olurken yönlülük ve kazanç de erlerindeki artışı sırasıyla 0.04dB ve 0.27dB olarak gözlenmiştir.

5 numaralı yayında; Bu çalışmada 5,8GHz frekansında konformal bir frekans seçici yüzey önerilmiştir aynı boyutta düzlemsel dizisi ile kıyasla bant genişliği ve frekansında kayda de er bir de iklilik olmadan iyi bir performans elde edilmiştir. Sunulan yapının uyumlandırıldığı küresel yüzeyin yarıçapına bağlı analizler de gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

6 numaralı yayında; Bu makalede son yıllarda yoğun ilgi gören metamalzemelerin enerji hasatına yönelik tasarımı yapılmıştır. Çalışmada RF enerji hasatı hedeflenmiştir, havada serbest olarak yayılan elektromanyetik dalgaların sahip olduğu enerjilerin uygun donanımlarla toplanarak yüksek verimde elektrik enerjisine çevirime yönelik metamalzeme tasarımı gerçekleştirilmiştir. Birim hücre geometrik ve malzeme özelliklerine ve kullanılan direnç de erine bağlı olarak %90 üzerinde verim elde edilmiştir.

7 numaralı yayında; Konformal Anten Tasarımı gerçekleştirilmiştir olup ileride tasarlanması planlanan konformal AMC yapıların anten performansına etkisi inceleneceğinde kullanılabilir olarak anten elde edilmiştir. Bu çalışmada 1,8 GHz konformal bükülebilir dikdörtgen mikro erit yama anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Konformal anten tasarımı kendi boyutlarındaki düzlemsel bir mikro erit yama anten tasarımı ile kıyaslanarak sonuçlar sunulmuştur. Önerilen tasarıma ait benzetim çalışmaları CST Microwave Studio programında gerçekleştirilmiştir. Her iki antene ait yansıma parametreleri, yönlülük, kazanç ve uzak alan örüntüsü incelenerek kıyaslanmıştır. Önerilen konformal anten ile 1.8GHz frekansında 6.24dB yönlülük, 5.46dB kazanç ve %89 verimlilik de eri elde edilmiştir.

8 numaralı yayında; Bu çalışmada cam tabanlı X-Bant uygulamalarına yönelik frekans seçici yüzey tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu yapıların AMC yapılar tasarlanmasına yönelik gerekli birikim elde edilmiştir. Elektrik geçirgenlik katsayısı 4.92 olan borcam tabanlı malzeme kullanılarak

gerçekle tirilen bu çalı mada X-bantta filtreleme sa lanırken görünür bölgede 1 1 1 geçiren bir yapı elde edilmi tir. Sunulan çalı mada dielektrik alt ta üzerine üçgen ekilli iletken yapılar farklı sayıda rezonansa sebep olmakta çoklu frekanslar elde edilebilmektedir. Gerçekle tirilen benzetimler CST ile yapılmı olup, parametrik analizler Szabo algoritması ile gerçekle tirilmi tir.

9 numaralı yayında; Bu çalı mada çift altıgen yapı ve bu altıgen yapılar arasına yerle tirilen direnç ile hasatı yapılması muhtemel güce yönelik analizler yapılmı tir. Klasik SRR ve AMC yapılarına benzer ekilde gerçekle tirilen ve dielektrik alt ta üzerine altıgen patern kazınması ile gerçekle tirilmi tir. Elde edilen yapıda verimlilik analizleri gerçekle tirilmi ve 90% üzerine verim elde edilmi tir. Farklı direnç de erleri ve farklı geometrik özellikler için analizler gerçekle tirilmi tir.

Netice itibarı ile proje ile yapay manyetik iletken yapıların çe itli malzemelerle elde edilebildi i gösterilmi tir. Projenin devamında özellikle vücut alan a larında kullanıma yönelik olarak tekstil içerikli yapay manyetik iletkenlerin geli tirilmesine yönelik olarak yeni projeler sunulması hedeflenmektedir.

## **VI. Kaynaklar**

Dosyası ek olarak hazırlanmı tir.

## **VII. Ekler**

### **a) Mali Bilanço ve Açıklamaları:**

Proje bütçesi olan KDV dahil 8,650.00TL, makina-teçhizat (mini CNC pantograf cihazı ve windows arayüz cihazı) ve sarf malzemeleri alımında kullanılmı tir. Mevcut cihaz ve sarf malzemeler, etkin bir ekilde kullanılmı tir/kullanılmaktadır.

### **b) Makine ve Teçhizatın Konumu ve lerideki Kullanımına Dair Açıklamalar:**

Proje kapsamında tedarik edilen Mini CNC Pantgoraf Cihazı, etkin bir ekilde laboratuvarımızda kullanılmakta olup benzer projelerde kullanılmaya devam edilecektir.

### **c) Teknik ve Bilimsel Ayrıntılar:**

Ekli bildiri ve makalelerde sunulmu tur.

d) Sunumlar (bildiriler ve teknik raporlar):

- Sultan Can, Asim Egemen Yılmaz, “Reduction of Specific Absorption Rate with Artificial Magnetic Materials”, International Conference on Electromagnetic Compatibility, EMC 2015, stanbul, 2-4 September 2015, (First Rank of Felsen Best Paper Award)
- Sultan Can, Asim Egemen Yılmaz, “ Radar Cross Section Reduction of a Plate with Textile-Based Single Negative Metamaterial”, EUCAP 2016 (kabul edildi)
- Sultan Can, Asim Egemen Yılmaz, “Hexagon Shaped Metamaterial-Loaded Antenna for Ku Band Applications”, ELECO 2015, Bursa, 26-28 November 2015.
- Ça la Metin, Sultan Can, A. Egemen Yılmaz “Konformal Frekans Seçici Yüzey Tasarımı”, SIU 2016, Zonguldak,Turkiye (halen de erlendirmede)
- Emrullah Karakaya, Cenk Mülazımo lu, Sultan Can, A. Egemen Yılmaz, Barı Akao lu, “Enerji Hasatı Uygulamalarına Yönelik Metamalzeme Tasarımı”, SIU 2016,Zonguldak,Turkiye (halen de erlendirmede)
- Naz Alpaslan, Sultan Can, A. Egemen Yılmaz “Konformal Anten Tasarımı”, SIU 2016,Zonguldak, Türkiye (halen de erlendirmede)
- Sultan Can, Asim Egemen Yılmaz, “ Glass-Based Tunable Single Negative Metamaterial for X-Band Applications”, International Congress on Advanced Electromagnetic Materials in Microwaves and Optics – Metamaterials 2016 Crete, Greece, 17-22 September 2016 (halen de erlendirmede)

e) Yayınlar (hakemli bilimsel dergiler) ve tezler:

- 1 Sultan Can, Asim Egemen Yılmaz, “Reduction of Specific Absorption Rate with Artificial Magnetic Materials”, International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, (accepted)
- 2 Sultan Can, Asim Egemen Yılmaz, “Reduction of Specific Absorption Rate with Artificial Magnetic Materials”, International Conference on Electromagnetic Compatibility, EMC 2015, stanbul, 2-4 September 2015, (First Rank of Felsen Best Paper Award)
- 3 Sultan Can, Asim Egemen Yılmaz, “ Radar Cross Section Reduction of a Plate with Textile -Based Single Negative Metamaterial”, EUCAP 2016 (kabul edildi)
- 4 Sultan Can, Asim Egemen Yılmaz, “Hexagon Shaped Metamaterial-Loaded Antenna for Ku Band Applications”, ELECO 2015, Bursa, 26-28 November 2015.
- 5 Ça la Metin, Sultan Can, A. Egemen Yılmaz “Konformal Frekans Seçici Yüzey Tasarımı”, SIU 2016,Zonguldak,Türkiye (halen de erlendirmede)
- 6 Emrullah Karakaya, Cenk Mülazımo lu, Sultan Can, A. Egemen Yılmaz, Barı Akao lu, “Enerji Hasatı Uygulamalarına Yönelik Metamalzeme Tasarımı”, SIU 2016,Zonguldak,Türkiye (halen de erlendirmede)
- 7 Naz Alpaslan, Sultan Can, A. Egemen Yılmaz “Konformal Anten Tasarımı”, SIU 2016,Zonguldak, Türkiye (halen de erlendirmede)
- 8 Sultan Can, Asim Egemen Yılmaz, “ Glass-Based Tunable Single Negative Metamaterial for X-Band Applications”, International Congress on Advanced Electromagnetic Materials in Microwaves and Optics – Metamaterials 2016 Crete, Greece, 17-22 September 2016 (halen de erlendirmede)
- 9 Cenk Mülazımo lu, Emrullah Karakaya, Sultan Can, A. Egemen Yılmaz, Barı Akao lu,” Hexagonal-Shaped Metamaterial Energy Harvester Design” 10th International Congress on Advanced Electromagnetic Materials in Microwaves and Optics – Metamaterials 2016 Crete, Greece, 17-22 September 2016 (halen de erlendirmede)