

UZAY GÖREVLERİNDE YENİLİKÇİ BİR ÇÖZÜM: MİKROŞERİT ANTENİN 1U KÜP UYDU ENTEGRASYONU

Muhammet Biçen¹, Yusuf Zana Gündüz², Ömer Uçar³ ve Emine Avşar Aydın⁴ Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Adana

ÖZET

Çalışmamız, küp uydu (CubeSat) alanında gerçekleştirilen yeni yama anten tasarımlarının ve malzeme çeşitliliğinin avantajlarını öne çıkarıyor. Bu alandaki yenilikler, anten tasarımlarında ve kullanılan malzemelerde çeşitlilik sağlayarak çalışmaların devamını teşvik ediyor. Araştırmamız, uydu iletişimlerinde kullanılan frekans bantlarına uygun yeni anten girişimlerini sunuyor. Bu girişimler, farklı geometrik yapılar ve malzemelerin avantajlarını kullanarak iletişim verimliliğini artırmayı hedefliyor. Standart bir 10 cm x 10 cm x 10 cm (ya da 1U) küp uyduya entegre edilebilecek bir geometri benimseyerek, farklı malzeme özelliklerini kullanarak bu hedefe ulaşmayı amaçlıyoruz. Son yıllarda 3-boyutlu yazıcılar, küp uydu ve anten üretiminde önemli rol oynamaktadır. Bu yazıcılar, tasarım esnekliği ve hızlı prototipleşme imkânı sunarak özellikle anten tasarımı için ideal bir çözüm sağlamaktadır. Üretilen parçaların hafif ve maliyet etkin olması, uydu görevleri için önemli bir avantajdır. Bu teknolojinin kullanımıyla, özellikle küp uydu ve anten gibi uygulamalarda, tasarım sürecinin hızlanması ve maliyetlerin düşmesi beklenmektedir. Önerilen antenlerin tasarımı, elektromanyetik yazılım olan CST Microwave Studio kullanılarak piyasada sıklıkla tercih edilen malzemelerden çeşitli dielektrik ve fiziksel özelliklere sahip TPU, PET, PLA, ABS ve FR4 gibi malzemeler antenlerin tabanları için kullanılarak 3 cm x 3 cm boyutlarında bir mikroşerit anten tasarlanmıştır. Analizler sonucunda, önerilen antenlerin S-bant aralığında iyi bir rezonans sağladığı görülmüştür. Simüle edilen antenlerin S-bandında (2-4 GHz) yansımaya katsayısı ve voltaj duran dalga oranı (VSWR) açısından başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, önerilen mikroşerit antenlerin, alçak Dünya yörüngesi (LEO) misyonları için bir küp uydu tabanlı nesnelerin interneti (IoT) için uydu veri hızı gereksinimlerini karşılaması beklenmektedir. Bu çalışma, küp uydu teknolojisinde anten tasarımı alanında önemli bir ilerleme sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Küp Uydu (Cubesat), S-Bant, Anten, Yansımaya Katsayısı

¹ Muhammet Biçen, E-posta: muhammetbicenn@gmail.com

² Yusuf Zana Gündüz, E-posta: yusufzgunduz@gmail.com

³ Ömer Uçar, E-posta: omerucar2079@gmail.com

⁴ Doçent Doktor Emine Avşar Aydın E-posta: eaydin@atu.edu.tr

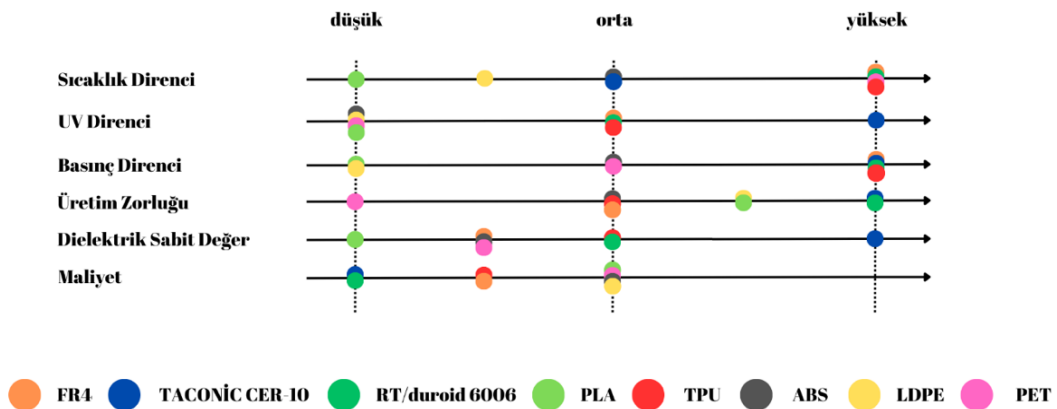
GİRİŞ

Uzay keşfi ve araştırmasında, küp uyduların rolü giderek artmaktadır. Özellikle alçak Dünya yörüngesi (LEO) misyonlarında, küp uyduların kullanımı önemli bir ivme kazanmıştır. Küp uydular, düşük maliyetleri, hızlı üretim süreçleri ve çeşitli görevler için esneklikleri nedeniyle çeşitli uzay uygulamalarında tercih edilen bir platform haline gelmiştir [İsmael ve Johnson, 2020]. Uzay araştırmalarında, iletişim sistemleri, uzay araçlarının etkili ve güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlamak için temel bir gerekliliktir. Bu bağlamda, küp uyduların iletişim kapasitesini artırmak, onların görevlerini daha etkin bir şekilde yerine getirmelerini sağlamak için önemlidir. İletişim sistemlerindeki gelişmeler, veri transferi, telemetri, komuta ve kontrol gibi kritik görevlerin başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanır [Smith ve Jones, 2019]. Mikroşerit antenler, küçük boyutları, hafif yapıları ve yüksek performansları nedeniyle küp uydular için ideal bir seçenek olarak öne çıkmaktadır [Lee ve Kim, 2018]. Bu çalışmada, alçak dünya yörüngesi misyonları için küp uyduların iletişim altyapısını güçlendirmek amacıyla mikroşerit antenlerin entegrasyonu üzerine odaklanılmıştır.

YÖNTEM

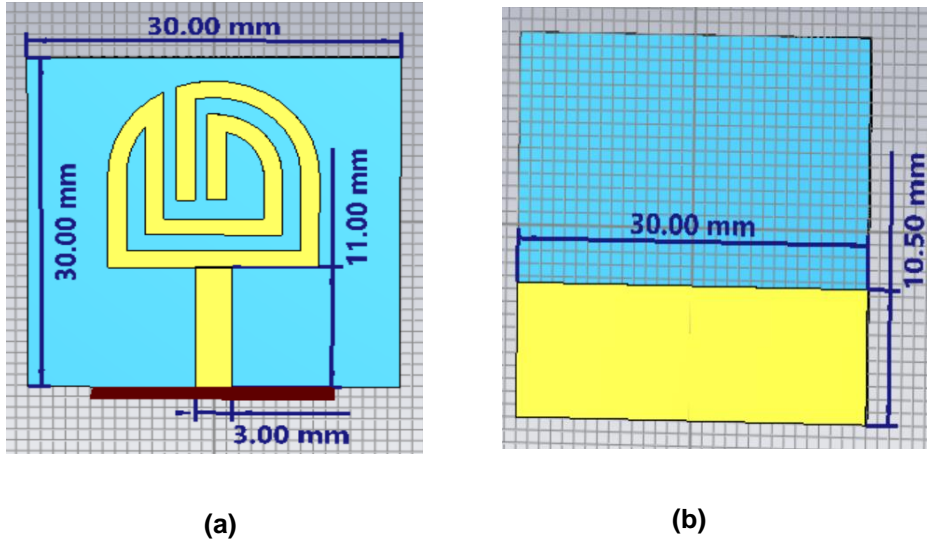
Bu bölümde, küp uydu üzerine uygun anten tasarımının adımları sunulmaktadır. İlk olarak, mikroşerit yama anteninin tercih edilme sebepleri ve çalışma kapsamında S-bant aralığına uygun antenin simülasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, proje kapsamında anten alttaşı malzemesinin anten performansındaki etkisinin parametrik çalışması yapılmıştır. Tüm üretim süreçleri aşağıda sıralanmıştır ve bunların ardından ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, küp uydu antenlerinin performansını etkileyen iki önemli faktör, alttaşı malzemesi ve anten geometrisi, kapsamlı bir literatür taraması ile derinlemesine incelenmiştir [Said ve Guennoun, 2024; Supreeyatitukul, Akkaraekthalin, Kawdungta ve Phongcharoenpanich, 2024; Benhmimou, Lamzouri, Hussain, Gupta, Laamara ve Bakkali, 2024; Nakayama, Sano, Matsushima ve Fukumoto, 2024; Jeong, Park, Kim, Gwon ve Kim, 2024]. Literatür taraması, önceki çalışmalardan elde edilen bulguları sentezlememize ve bu iki faktörün küp uydu antenleri üzerindeki etkisine dair sağlam bir bilgi birikimi oluşturmamıza olanak sağlamıştır. Anten performansını önemli ölçüde etkileyen alttaşı malzemesinin seçimi, kapsamlı bir araştırma ve deneysel çalışma yoluyla gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın ilk aşamasında, sıcaklık direnci, UV direnci, basınç direnci, üretim zorluğu, dielektrik sabit değer ve maliyet gibi altı temel ölçüt belirlenerek, bu ölçütlere göre sekiz farklı malzeme değerlendirilmiş ve Tablo 1'de sunulmuş ve literatürlerden elde edilen bilgiler doğrultusunda her bir malzemenin ölçütlere göre performansı analiz edilmiştir [Kalender, Kılıç, Ersoy, Bozkurt ve Salman, 2019].

Tablo 1: Farklı malzemelerin seçim ölçütlerine göre karşılaştırması [Kalender, Kılıç, Ersoy, Bozkurt ve Salman, 2019].



Bu seçim, tüm kriterlerin dengeli bir şekilde karşılanmasına dayanmıştır. Bu sayede, antenin bilimsel ve uzay ortamına uygun bir şekilde seçilmiş, uzun ömürlü, dayanıklı ve yüksek performanslı olması garanti altına alınmıştır.

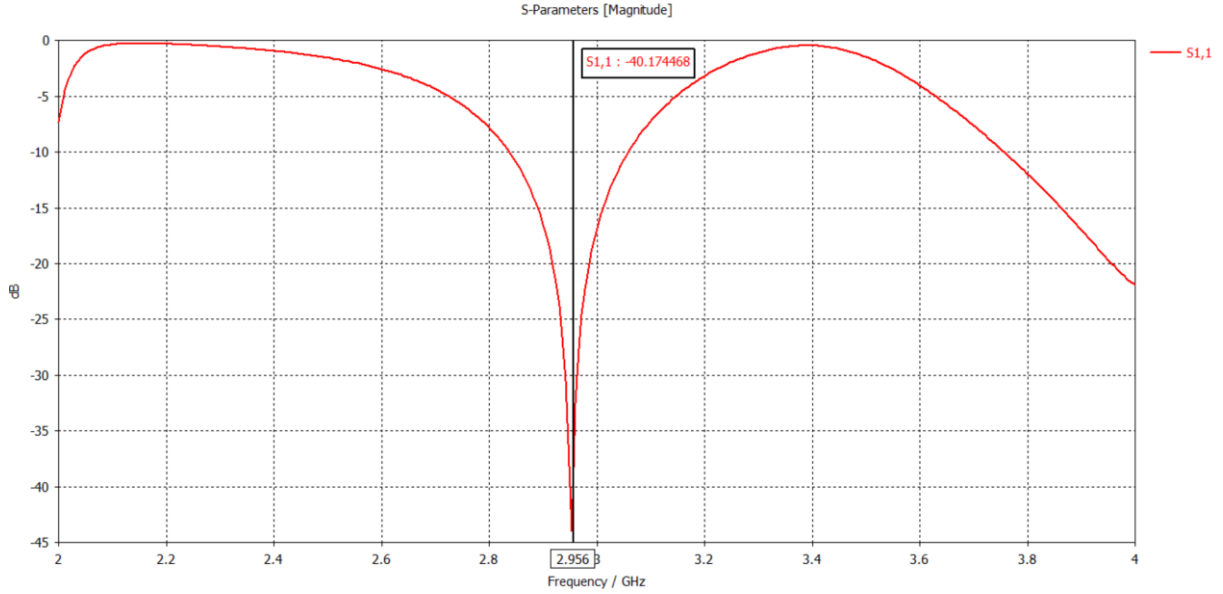
Uygun malzeme seçimi yapıldıktan sonra, S-bantında çalışan bir mikroşerit yama anteni tasarlanmış ve gerekli analizler CST Microwave Studio programında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlarla her bir malzemenin ölçütlere göre karşılaştırmalı analizi yapılarak aralarında uygun olanlar seçilmiş ve alttaş malzemesi olarak değerlendirilmiştir. Seçim yapılırken tek bir kritere odaklanmak yerine tüm kriterlerin dengeli bir şekilde karşılanması esas alınmıştır. Sonuç olarak Termoplastik Poliüretanlar (TPU) isimli malzemenin anten performansını optimize etmek için ideal bir seçim olduğu belirlenmiştir. Bu sayede anten performansını önemli ölçüde etkileyen alttaş malzemesinin bilimsel ve uzay ortamına uygun bir şekilde seçilmesi sağlanmış, antenin uzun ömürlü, dayanıklı ve yüksek performanslı olması garanti altına alınacağı düşünülmüştür. Uygun malzeme seçimi yapıldıktan sonra, S-bantında çalışan bir mikroşerit yama anteni CST Microwave Studio programında tasarlanmış ve gerekli analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 1 (a)'da antenin ön yüzü, Şekil 1 (b)'de ise arka kısmı gösterilmektedir.



Şekil 1: Benzetim programında tasarlanan antene ait ön yüz (a) ve arka yüze (b) ait gösterimleri.

UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRME

Çalışma kapsamında, farklı dielektrik özelliklerine sahip alttaş malzemeleri üzerinde simülasyonlar yapılmış ve deneysel ölçümler gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan antenlerin 2-4 GHz aralığında sergilediği performanslar incelenmiş ve analiz edilmiştir. Üretim sürecindeki hatalar ve ölçüm cihazlarının hassasiyeti dikkate alınarak, sonuçlar değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, farklı dielektrik özelliklerine sahip malzemelerin (FR4, PLA TPU, PET, LDPE, TACONIC CER-10, RT/duroid 6006, ABS) anten performansına olan etkisini göstermektedir. Bu çalışma, farklı dielektrik özelliklerine sahip alttaş malzemelerinin anten performansına olan etkisini değerlendirmiştir. TPU malzemesi ile üretilen antenin genel performansının tatmin edici olduğu tespit edilmiştir. Anten tasarımında malzeme seçiminin kritik bir rol oynadığı ve anten performansının optimize edilmesine yönelik değerli ipuçları sağladığı sonucuna varılmıştır. Anten geri dönüş kaybı, bir antenin girişine uygulanan sinyalin anten tarafından ne kadarının geri yansıtıldığını ölçen bir parametredir [Capozzoli, Curcio, Agostino ve Liseno, 2024]. Daha düşük bir S11 değeri, daha az geri yansıma ve iyi bir performans anlamına gelir ve kabul edilebilir S11 değeri uygulamanın gereksinimlerine ve tasarım kriterlerine bağlı olarak değişebilirken mikrodalga uygulamalarında genellikle -10 dB veya daha düşük olması istenir. Şekil 2'de de görüldüğü üzere tasarladığımız anten 2.956 GHz 'de -40.17 dB'lik oldukça iyi bir performans göstermiştir.



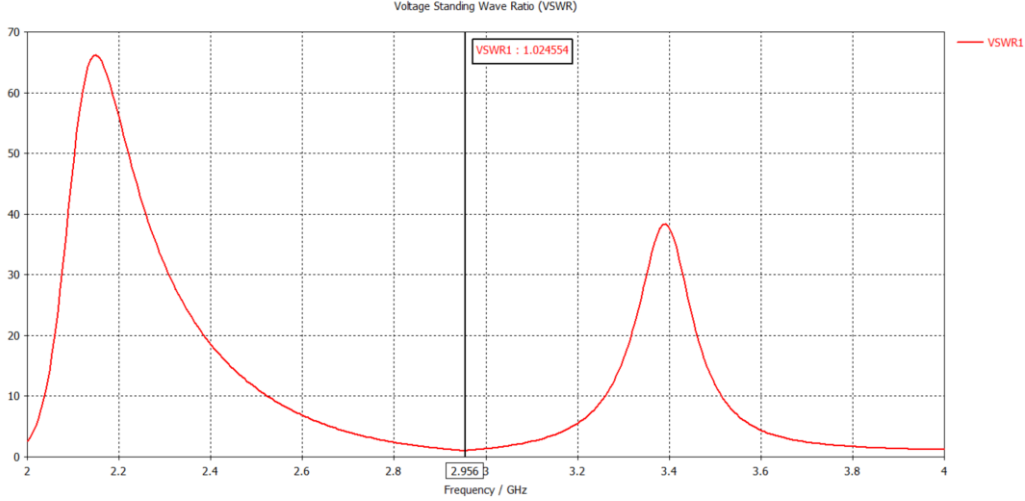
Şekil 2: Tasarlanan antene ait frekansa karşı yansımaya katsayısı grafiği (0-12 GHz arasında).

VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) değeri, bir iletim hattında yansıyan güç miktarını belirlemek için kullanılan bir parametredir. Bu değer ideal olarak düşük olması istenir. İletim hattında ideal bir uyum sağlandığında, VSWR değeri 1:1 olmalıdır. Ancak pratikte bazı yansılardan kaçınmak mümkün olmadığından, genellikle belirli bir sınır içinde kalınması hedeflenir.

Genel olarak kabul edilen VSWR değerleri şunlardır:

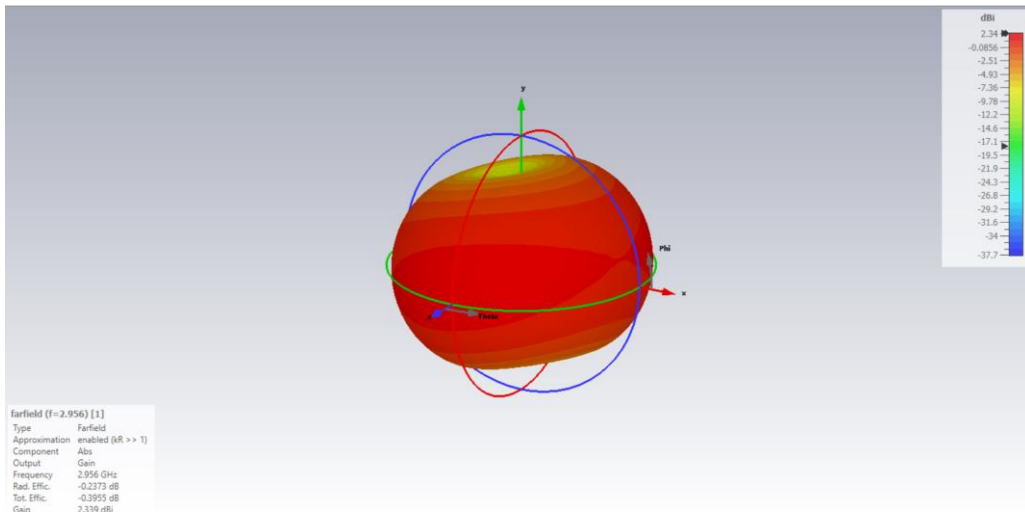
- **1.0-1.5:** Çok iyi uyum. Yansıyan güç minimaldir ve sistem verimli çalışır.
- **1.5-2.0:** Kabul edilebilir uyum. Yansıyan güç hala düşük seviyededir ve sistemin performansını ciddi şekilde etkilemez.
- **2.0-3.0:** Sınırdaki kabul edilebilir uyum. Yansıyan güç artmıştır ve sistem performansında belirgin düşüşler gözlemlenebilir.
- **3.0 ve üzeri:** Kötü uyum. Yansıyan güç çok yüksektir ve sistem performansını ciddi şekilde etkiler. Bu durumda, yansımaları azaltmak için ilave tedbirler alınması gerekebilir.

Dolayısıyla, VSWR değeri 1:1'e ne kadar yakınsa, sistem o kadar verimli çalışır. Ancak pratikte 1.5:1 veya daha düşük değerler genellikle kabul edilebilir seviyeler olarak görülmektedir. VSWR, antenlerin kurulumunda ve bakımında önemli bir ölçümdür. Anten sistemlerinin performansını optimize etmek ve ekipmanın uzun ömürlü olmasını sağlamak için düşük VSWR değerleri hedeflenir. Şekil 3'de gösterildiği gibi antenin VSWR değeri uygun aralıkta olup 2.956 GHz'de 1.025'tür.



Şekil 3: Tasarlanan antene ait frekansa karşı voltaj duran dalga oran (VSWR) grafiği.

Anten uzak alan kazancı, antenin birincil yayılma yönünde ne kadar güçlü bir sinyal üretebildiğini belirtir ve bu da antenin verimliliği ve performansı hakkında bilgi sağlar. Bu terim, iletişim sistemlerinde, radyo frekansı teknolojisinde ve benzeri alanlarda kullanılır. 2.956 GHz frekansında antene ait uzak alan kazancı Şekil 4’de gösterilmiştir.



Şekil 4: Tasarlanan antene ait uzak alan kazanç örüntüsü.

Radyasyon verimliliği, anten performansını belirleyen ve iletişim sistemlerinin etkinliğini doğrudan etkileyen kritik bir parametredir. Anten tasarımı ve kurulumu sırasında bu verimliliğin maksimize edilmesi hedeflenir. Çoğu uygulamada, %70'in üzerinde bir radyasyon verimliliği iyi kabul edilir. Ancak bazı özel durumlarda, özellikle mobil cihazlarda kullanılan küçük antenler gibi kompakt ve yer kısıtlaması olan tasarımlarda %30-%50 verimlilik kabul edilebilir olabilir. Anten tasarımında hem VSWR hem de radyasyon verimliliği göz önünde bulundurularak en iyi performans sağlanmaya çalışılır. Düşük VSWR, iyi bir uyumun göstergesidir, ancak antenin yayılan gücünün ne kadarının gerçekten yayınlandığını anlamak için radyasyon verimliliği de dikkate alınmalıdır. Anten verimliliği desibel (dB) cinsinden verildiğinde, bu değeri yüzdeye çevirmek için aşağıdaki formül kullanılır:

$$\text{Verimlilik (yüzde)} = 10 \left(\frac{\text{Verimlilik (dB)}}{10} \right) \times 100$$

Grafikten de görüldüğü üzere anten verimliliği -0.5 dB dir ve bu değeri yüzdeye çevirmek için aşağıdaki adımlar uygulanır:

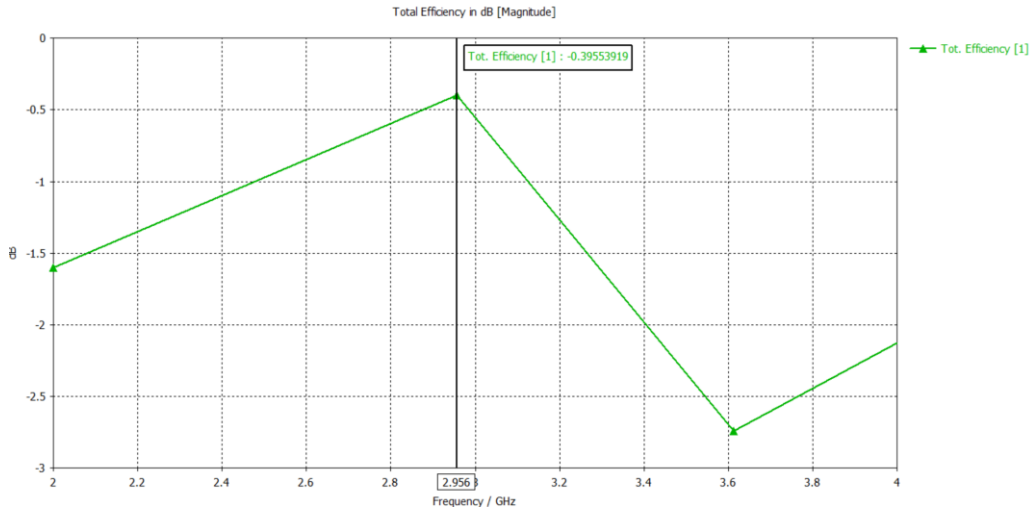
1. İlk adımda dB cinsinden verimliliği lineer skala çevirimi:

$$10 \left(-\frac{0.5}{10} \right) = 10 - 0.0510 \left(-\frac{0.5}{10} \right) = 10 - 0.05$$

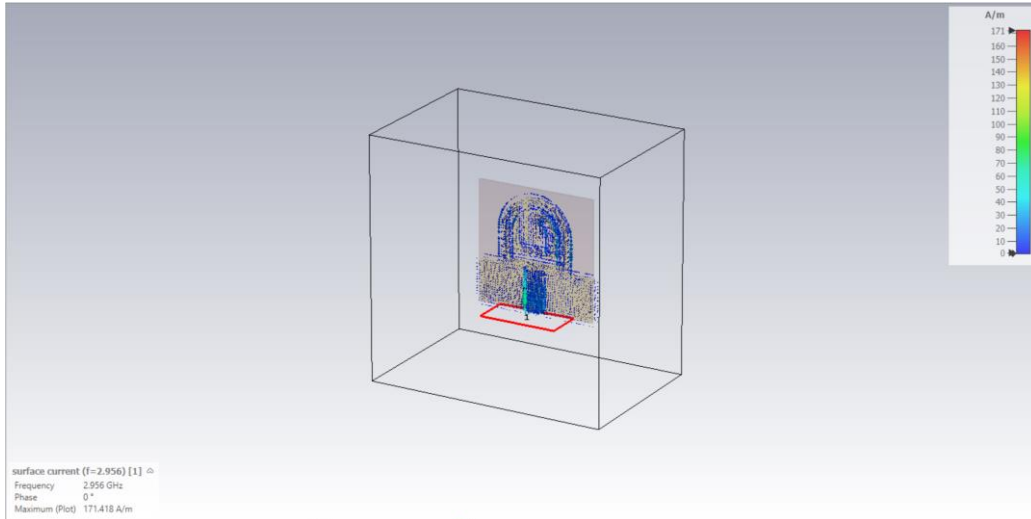
$$10 - 0.05 \approx 0.89110 - 0.05 \approx 0.891$$

2. Son adımda bu değer yüzdeye çevrilir: $0.891 \times 0.89110 - 0.05 \approx 0.891$

Dolayısıyla, Şekil 5'de de görüldüğü gibi anten verimliliği -0.5 dB ise, bu verimlilik yaklaşık olarak %89.1'dir. Ayrıca Şekil 6'da ise yüzey akım yoğunluk grafiği verilmiştir.

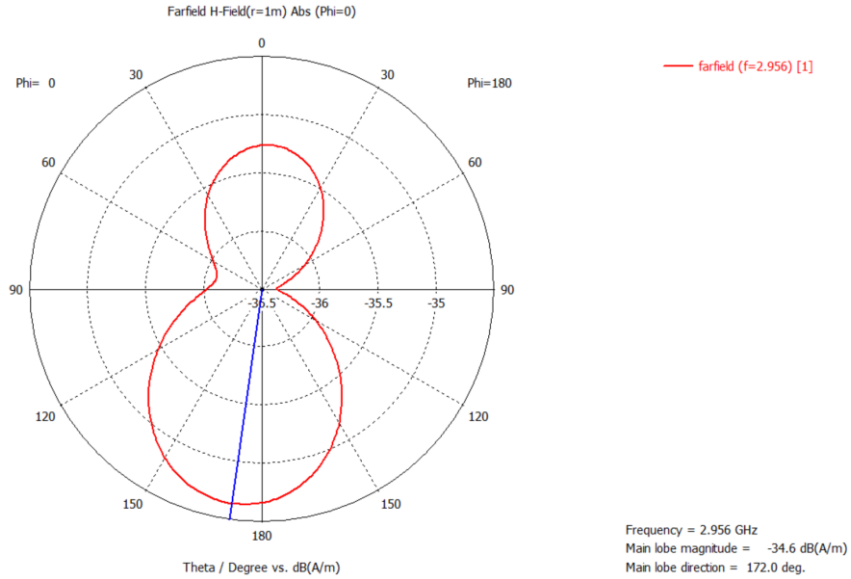
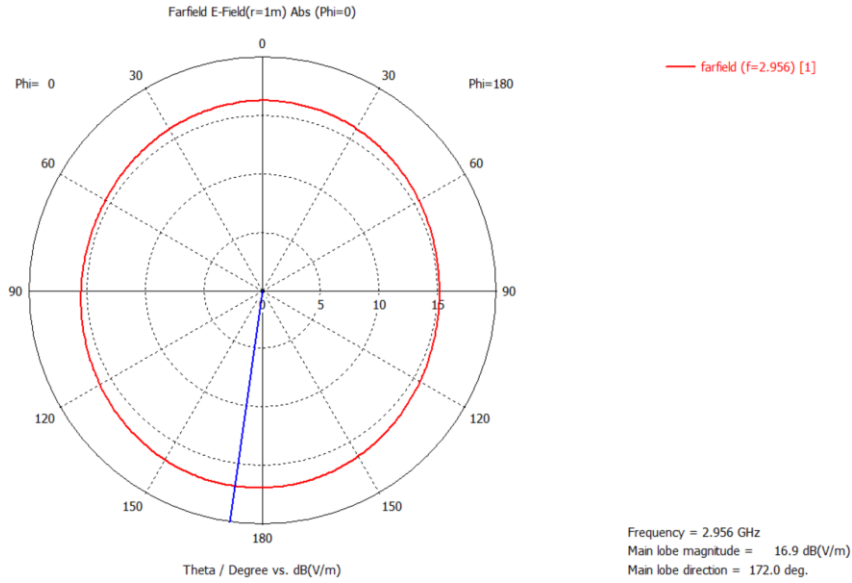


Şekil 5: Tasarlanan antene ait radyasyon verimlilik grafiği.



Şekil 6: Tasarlanan antene ait yüzey akım yoğunluk grafiği.

Anten ışınma paterni, bir antenin farklı yönlerde yaydığı elektromanyetik enerjinin dağılımını gösteren grafiksel bir temsildir. Bu patern, antenin yaydığı sinyal gücünün uzayda nasıl dağıldığını gösterir ve genellikle iki boyutlu (2D) veya üç boyutlu (3D) olarak görselleştirilir. Şekil 7'de Elektrik ve Manyetik alan ışınma örüntüleri verilmiştir.

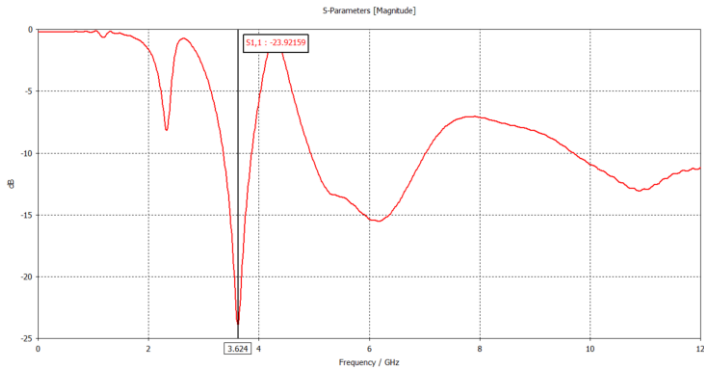


Şekil 7: Tasarlanan antene ait sırasıyla (a) Elektrik alan ve (b)Manyetik uzak alan grafikleri.

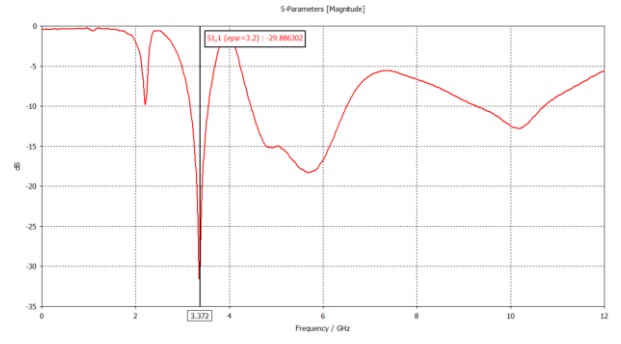
Dielektrik özelliklerine göre alttaşı malzemelerinin seçimi büyük önem taşımaktadır. Optimizasyon süreci, antenin belirlenen tasarım hedeflerine bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Örneğin, belirli bir frekans aralığında maksimum kazancın elde edilmesi amaçlanıyorsa, uygun dielektrik sabitine sahip bir alttaşı seçilmesi gerekmektedir. Ayrıca, dielektrik kayıplarının en aza indirgenmesi ve antenin genel verimliliğinin artırılması önemlidir. Bu hedeflere ulaşmak için, sayısal elektromanyetik simülasyon araçları kullanılarak farklı dielektrik özelliklerine sahip alttaşların anten performansı üzerindeki etkileri detaylı olarak analiz edilebilir ve en uygun kombinasyon belirlenebilir. Bu süreç, antenin istenen özelliklere en uygun tasarımını sağlamak için kritik öneme sahiptir. Şekil 8'de, Tablo 1'de verilen malzemeler ve değerlerinin simülasyon ortamında analiz edilerek antenlere ait geri dönüş kayıpları gösterilmiştir. Şekil 3'teki grafikten de anlaşılacağı üzere, Tablo 1'de kullanılan malzemelerin hepsi 2-4 GHz arasında oldukça iyi bir performans sergilerken dielektrik değeri 10'un üzerine çıktığında (Şekil 3), 2-4 GHz aralığında çalışmadığı gözlemlenmiştir.

Tablo 2: Simülasyon analizinde kullanılan malzemeler ve dielektrik sabit değerleri.

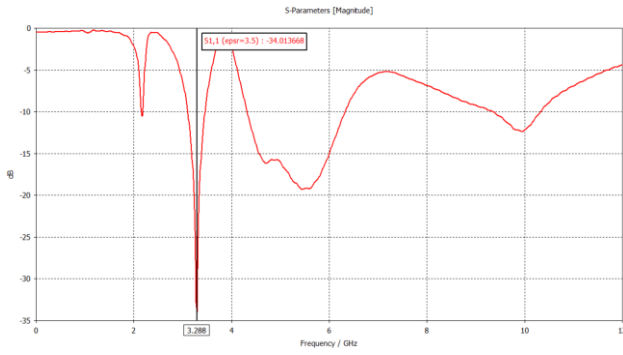
Malzemeler	Dielektrik sabit değerleri (epsr)
1.PLA	2.4
2.ABS	2.7-3.2
3.PET	3.5
4.FR-4 (lossy free)	4.3
5.TPU	3.7 (3.7-6.7, ortalama 5.16)
6.RT/duroid 6006	6.15
7.Taconic CER-10	10.0
8.TPU	6.7



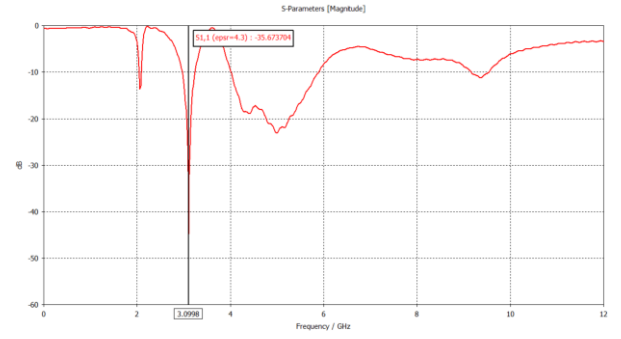
(a)



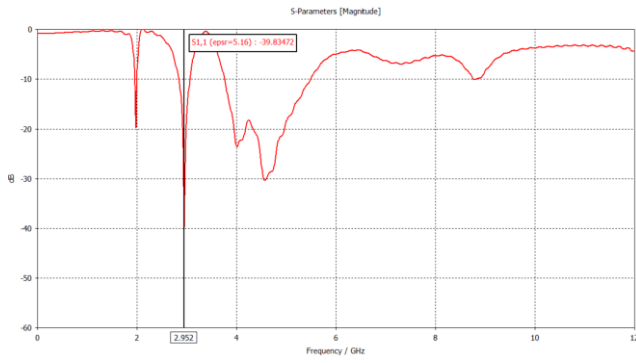
(b)



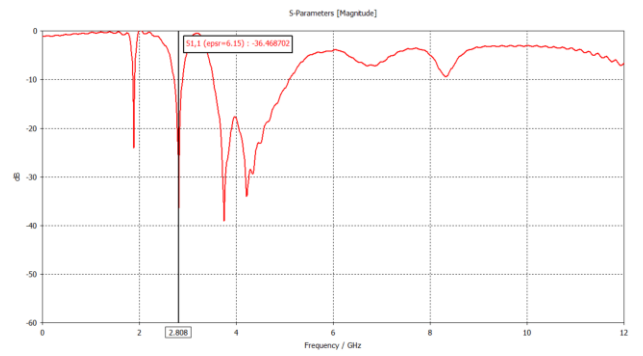
(c)



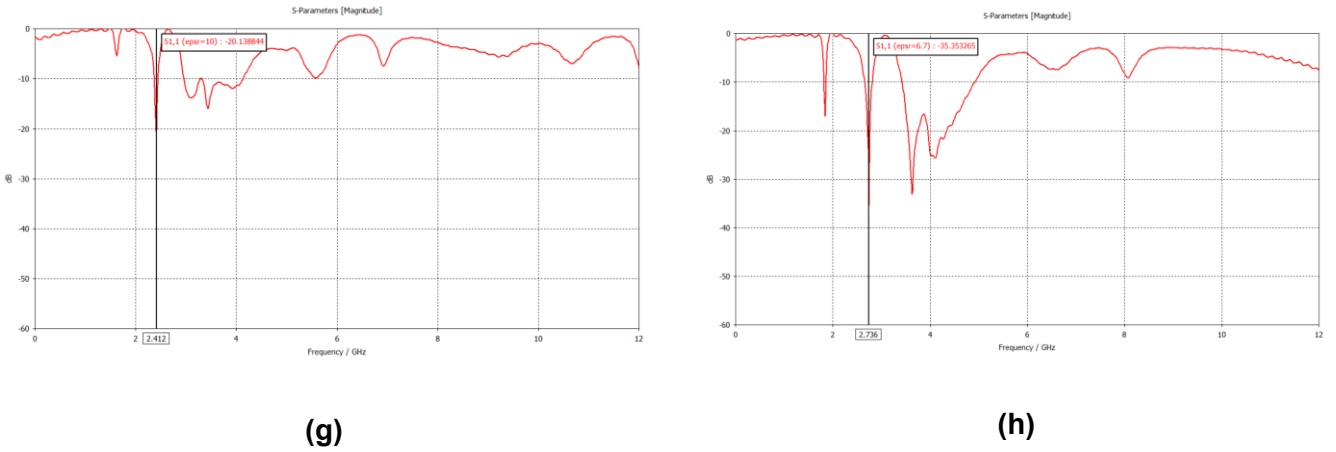
(d)



(e)

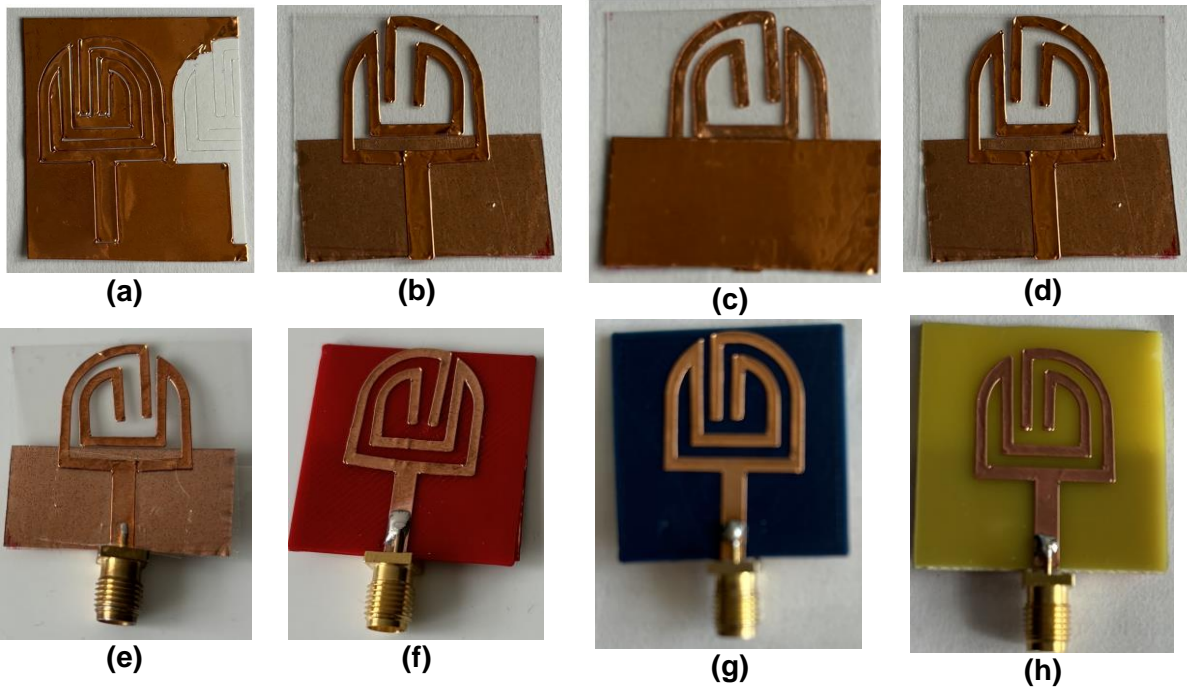


(f)

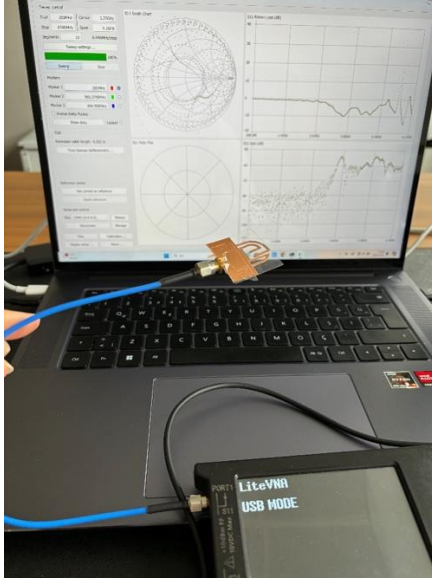


Şekil 8: Tasarlanan antenin farklı dielektrik alt taşlara göre frekansa karşı yansımaya katsayısı grafiği, sırasıyla PLA (a), ABS (b), PET (c), FR-4 (lossy free) (d), TPU (e), RT/duroid 6006 (f), Taconic CER-10 (g), TPU epsr=6.7 (h).

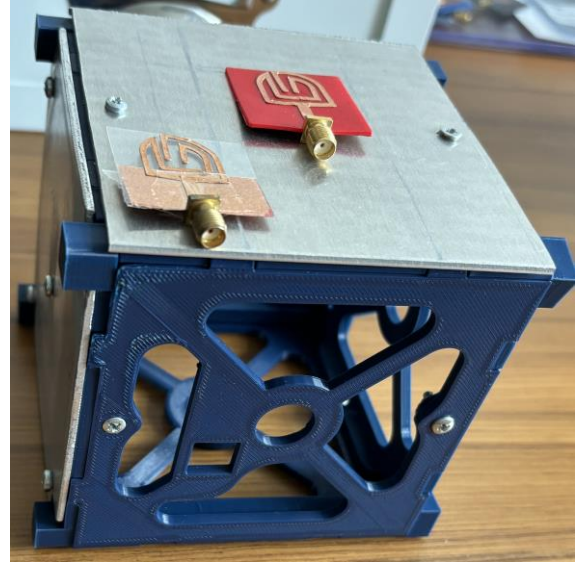
Anten üretimlerinde alttaş olarak kullanacağımız malzemelerden biri olan PET malzemesini kullanarak Şekil 9'da gösterildiği gibi anten üretilmiştir. Antenin ışımaya yapan kısmının kesimi için öncelikle kesim makinasından (cricut joy) faydalanılarak hassas kesimi yapılmıştır ve ardından PET malzemesinin bir yüzüne Şekil 9 (a, b, c)'de gösterildiği gibi yapıştırılmıştır. Ardından antenin toprak kısmı için kesim yapılmış ve diğer yüzüne de Şekil 9(d) 'de gösterildiği gibi yapıştırılarak anten üretimi sağlanmıştır. Daha sonra aynı işlem Şekil 9 (f), (g), (h)' da görüldüğü gibi TPU, PLA, FR4 içinde yapılmıştır. Ardından da bir el tipi VNA (LiteVNA-100 MHz-6.3GHz) ile Şekil 10 (a)'da gösterildiği gibi anten ölçümleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 9: Anten üretim aşamaları, sırasıyla cricut joy ile bakır bant kesimi (a), PET ön yüzüne yapıştırılması (b), topraklama kısmının diğer yüzüne yapıştırılması (c), iletken ve alttaşlarının yapıştırılmasından sonraki durumu (d), PET ile üretilen anten (e), TPU ile üretilen anten (f), PLA ile üretilen anten (g), ve FR4 ile üretilen anten (h).



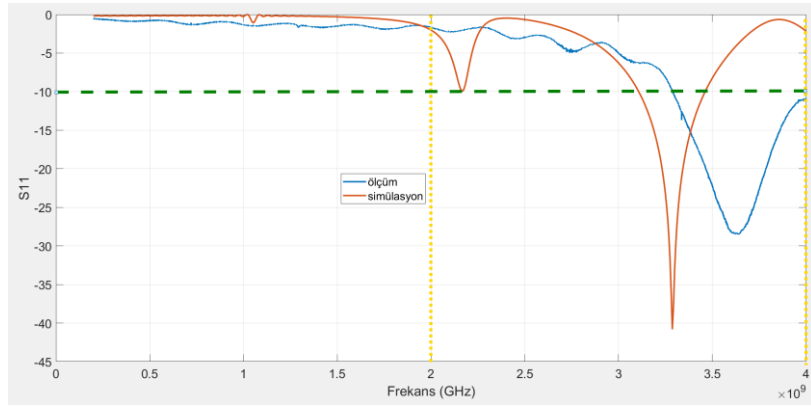
(a)



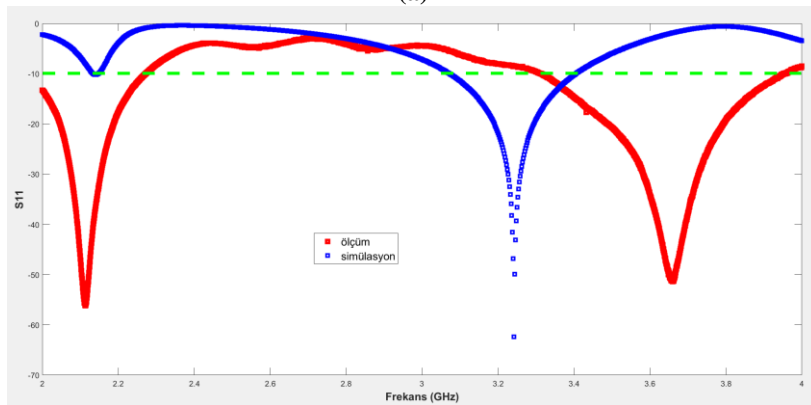
(b)

Şekil 10: Anten ölçüm düzeni (a), Küp uydu üzerinde iken ölçüm sistemi (b).

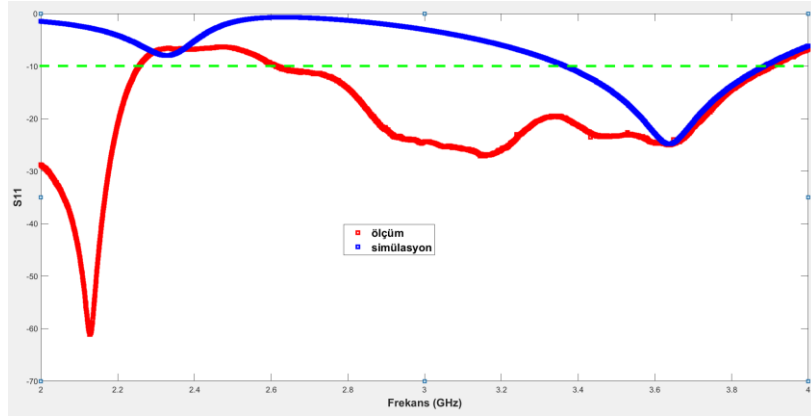
Daha önce simülasyon ortamında gerçekleştirilen PET için anten sonuçları ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Şekil 11’de gösterildiği gibi Üretim hataları ve ölçüm cihazının hassasiyeti gibi problemlerin sebep olduğu kayma mevcut olsa da genel itibarıyla sırasıyla alttaş PET, TPU, PLA ve FR4 2-4 GHz aralığından gösterdikleri performansları tatmin edicidir. Ayrıca, kullanılan malzemelerin dielektrik değerleri literatür bilgisine dayanarak simülasyon ortamında değerlendirilmiştir fakat malzemelerin frekansa bağlı dielektrik ölçümleri elde edilip çıkan değerlere daha net ulaşılabilip buradaki kayma hataları giderilebilir.



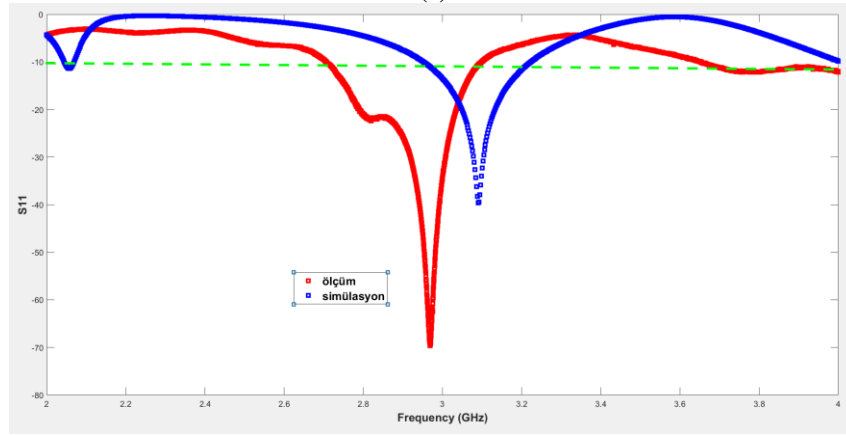
(a)



(b)



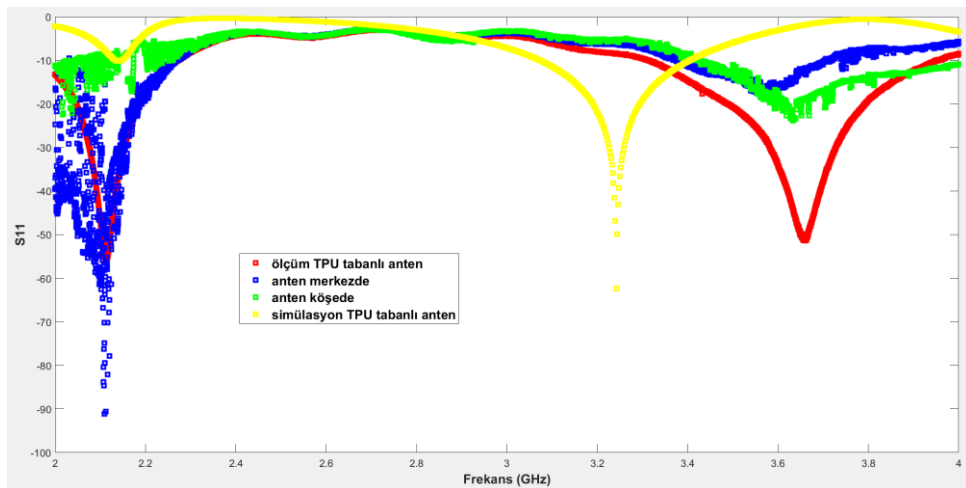
(c)



(d)

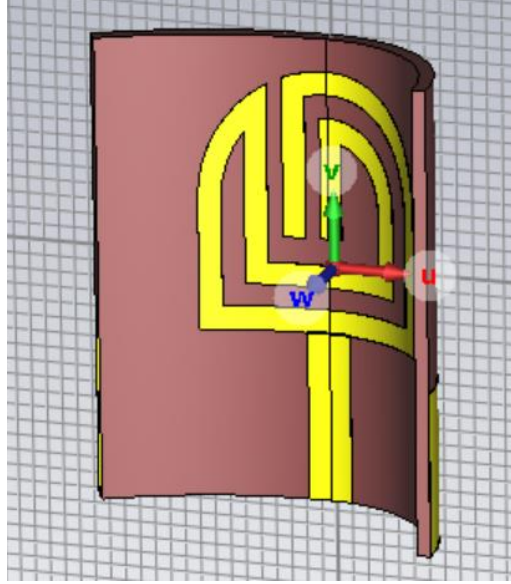
Şekil 11: Simülasyon ve deneysel ölçümlerine göre yansıma katsayılarının (S11) karşılaştırılması sırasıyla altaş PET (a), TPU (b), PLA (c), ve FR4 (d).

Şekil 12'de de anten performansları değerlendirildiğinde TPU ile oldukça iyi bir sonuç göstermesinden dolayı küp uydu üzerinde biri merkezde biri de köşesine anten yerleştirilerek ölçümler tekrarlanmıştır. Merkezde olması durumunda daha uygun bir yerleşim olacağına gözlemlenmiştir.

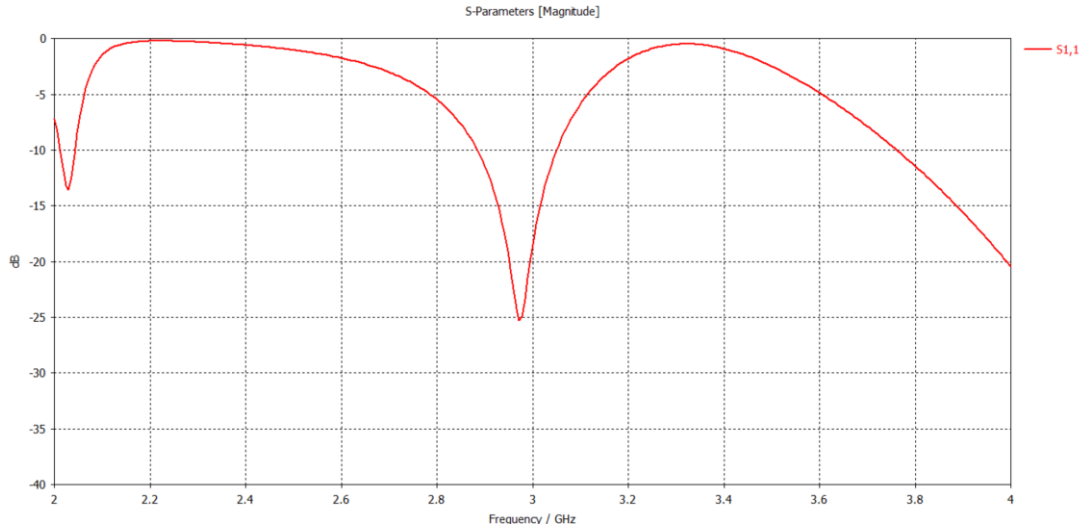


Şekil 12: Altaş TPU ile üretilen antenin küp uydu üzerinde deneysel ölçümlerine göre yansıma katsayılarının (S11) karşılaştırılması.

TPU esnek bir malzemedir ve bükülme etkisinin anten performansı üzerinde etkisi değerlendirilmiş olup Şekil 13'de simülasyon ortamındaki gösterimi ve yansımaya katsayısı grafiği verilmiştir. Yapılan analiz sonucunda şekil 14'de bükülme durumunda aynı frekansta (2.956 Ghz) çalıştığı gözlemlenmiştir buda TPU' nun esnek özelliğinin anten performansı üzerinde olumsuz etkisinin olmadığını göstermektedir.



Şekil 13: Tasarlanan Antenin TPU ara tabakasıyla bükülme testi



Şekil 14: Tasarlanan Antenin TPU ara tabakasıyla bükülme testi sonucunda oluşan yansımaya katsayısı grafiği.

Tablo 3'te görülen karşılaştırma tablosu, literatürde mevcut çalışmaların ana eğilimlerini, bulgularını ve metodolojik yaklaşımlarını sistematik bir şekilde özetlemektedir. Bu tablo ile tasarlanan antenin, literatürde yapılan çalışmaların sonuçları ile uyumlu ve mantıklı olduğu gösterilmiştir.

Tablo 3: Literatürde Mevcut Çalışmaların Karşılaştırma Tablosu.

Referans	Anten Boyutu (mm ³)	Rezonans Frekansı (GHz)	Bant genişliği (MHz)	Kazanç (dBi)	Yansım Katsayısı (S11)
[Pushpalatha, Namana, Navadagi ve Varun 2023].	30x30x1.52	3.5	1036	1.43	-31.77
[Zafrane, Mebrek, Souillah, Madouri ve Abes 2023]	10.5x5.5	2.4	32	6.4	-15
[Yao, Liao, Wang, Xue, Balfour ve Luo, 2016]	110x110x3.18	2.2	N/A	6	-15
[Johnson, Manohar, Venkatakrisnan ve Volakis, 2020]	159x152x3.17	2.4	N/A	7.7	-10
[Kothapudi ve Kumar, 2017]	100x100x1.6	3.2	N/A	8.5	-10
[Pittella, Pisa, Pontani, Nascetti, D'Atanasio, Zambotti ve Hadi 2016]	39.7x12x1.52	2.45	N/A	3.7	-10
[Sun, , Zhang ve Chen 2019]	124x124x10	2.145 -2.660	N/A	5	-10
[Jin, Li, Wang ve Liao, 2020]	60x60x0.3	2.04-3.94	N/A	8.2	-10
[Lamine, Assane, Dioum, Idy, Khaly, Khouma andFarssi 2018]	18x5.5x4.5	2.53	N/A	1.92	-10
Tasarlanan Anten	30x30x1.6	2.956		2.339	-40.17

SONUÇ

Bu araştırma, farklı dielektrik özelliklerine sahip alt tabaka malzemelerinin seçiminin, tasarlanan küp uydu için mikroşerit anten entegrasyonunda belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Simülasyonlar ve deneysel veriler, uzay ortamında dayanıklı, kolay üretilebilir ve maliyet açısından uygun bir malzemenin seçilerek mikroşerit antenin performansının artırılabilceğini göstermektedir. Bu bulgu, uzay iletişim sistemlerinin verimliliğini ve güvenilirliğini artırarak, küp uydu teknolojisinin gelecekteki gelişimine önemli bir katkı sağlayabilir. Ancak, bu çalışmanın kapsamı sınırlıdır ve ileride daha kapsamlı araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle, farklı malzemelerin uzun vadeli performansının değerlendirilmesi ve mikroşerit antenin diğer uydu alt sistemleriyle entegrasyonunun incelenmesi gerekmektedir. Bu yönde yapılan çalışmalar, küp uydu teknolojisinin daha da geliştirilmesine ve uzay keşif alanında daha ileri adımların atılmasına olanak tanıyabilir. Uzayda kullanılan malzemelerin önemli avantajları ve sağladığı faydalar şu şekildedir:

1. Hafiflik ve Dayanıklılık: Uzay uçuşlarında her gram önemlidir. Hafif malzemeler, roketlerin daha az yakıt tüketerek uzaya taşıdığı yükü azaltabilir. Aynı zamanda, uzaya gönderilen uyduların yapısal dayanıklılığını artırabilir, böylece uzun ömürlü ve güvenilir çalışma sağlar.
2. Termal Kontrol: Uzayda sıcaklık büyük ölçüde değişkenlik gösterir. Termal kontrol malzemeleri, uyduların iç sıcaklığını istikrarlı bir şekilde tutabilir. Bu da elektronik bileşenlerin performansını artırır ve uzun ömürlü işletim sağlar.
3. Radyasyon Direnci: Güneş ışınları ve kozmik radyasyon, uzay araçları için potansiyel bir tehdit oluşturur. Radyasyona dayanıklı malzemeler, bileşenlerin ve elektronik sistemlerin zarar görmesini önleyebilir, böylece uzay görevlerinin başarılı bir şekilde tamamlanmasına yardımcı olabilir.
4. Sürdürülebilirlik: Enerji verimliliğini artıran malzemeler, güneş enerjisi gibi sürdürülebilir enerji kaynaklarının daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlayabilir.
5. Yenilikçi Fonksiyonlar: Bazı malzemeler, özellikle esnek veya transparan malzemeler, farklı fonksiyonlar sağlayabilir. Örneğin, transparan malzemeler, güneş panelleri gibi güneş enerjisi toplama sistemlerinde daha verimli bir şekilde kullanılabilir. Esnek malzemeler ise uyduların tasarımında daha fazla esneklik ve uyum sağlayabilir.

Bu avantajlar, uzay araştırmaları ve keşifleri için daha güvenilir, verimli ve sürdürülebilir teknolojilerin geliştirilmesine katkıda bulunur. Uzay endüstrisi, malzeme bilimi ve mühendisliği alanındaki ilerlemeleri sürekli olarak takip ederek uzay görevlerinin başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamaya çalışır.

Kaynaklar

- Babuscia, A., Corbin, B., Knapp, M., Jensen-Clem, R., Van de Loo, M., & Seager, S. (2013). Inflatable antenna for cubesats: Motivation for development and antenna design. *Acta Astronautica*, 91, 322-332.
- Balanis, C. A. (2016). *Antenna theory: analysis and design*. John Wiley & sons
- Benhmimou, B., Lamzouri, F. Z., Hussain, N., Gupta, N., Laamara, R. A., Arora, S. K., ... & El Bakkali, M. (2024). An efficient 3U CubeSat downlink transmission based on an S-band lightweight CPW-fed antenna. In *Artificial Intelligence and Blockchain in Industry 4.0* (pp. 108-119). CRC Press.
- Capozzoli, A., Curcio, C., D'Agostino, F., & Liseno, A. (2024). A Review of the Antenna Field Regions. *Electronics*, 13(11), 2194.
- Clemente-Arenas, M. (2018, September). Quasi-transparent meshed and circularly polarized patch antenna with metamaterials integrated to a solar cell for S-band CubeSat applications. In *2018 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA)* (pp. 605-608). IEEE.
- İsmail, A., & Johnson, B. (2020). "Küp Uydu Teknolojisindeki Gelişmeler: Bir İnceleme." *Uzay Araştırmaları Dergisi*, 25(3), 123-135.
- Johnson, A. D., Manohar, V., Venkatakrishnan, S. B., & Volakis, J. L. (2020). Low-cost S-band reconfigurable monopole/patch antenna for CubeSats. *IEEE Open Journal of Antennas and Propagation*, 1, 598-603.
- Jeong, P., Park, H. W., Kim, K. H., Gwon, S., & Kim, O. (2024, January). Study and Development of LEO Navigation Signal Generator for Small CubeSat. In *Proceedings of the 2024 International Technical Meeting of The Institute of Navigation* (pp. 702-711).
- Jin, G., Li, L., Wang, W., & Liao, S. (2020). Broadband polarisation reconfigurable antenna based on crossed dipole and parasitic elements for LTE/sub-6GHz 5G and WLAN applications. *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 14(12), 1469-1475..
- Kalender, M., Kılıç, SE, Ersoy, S., Bozkurt, Y. ve Salman, S. (2019, Haziran). Havacılık ve uzay endüstrisinde eklemeli üretim ve 3D yazıcı teknolojisi. 2019 yılında 9. Uluslararası
- Kothapudi, V. K., & Kumar, V. (2017). A single layer S/X-band series-fed shared aperture antenna for SAR applications. *Progress In Electromagnetics Research C*, 76, 207-219.
- L. Sane, A. Ngom, I. Dioum, I. Diop, K. Tall, M. M. Khouma, K. Diallo, and S. M. Farssi, "Dual-band pattern reconfigurable 5G antenna using dual-band BLC," in *Proc. IEEE Conf. Antenna Meas. Appl. (CAMA)*, Sep. 2018, pp. 2018–2021.
- Lamine, S. A. N. E., Assane, N. G. O. M., Dioum, I., Idy, D. I. O. P., Khaly, T. A. L. L., Khouma, M. M., ... & Farssi, S. M. (2018, September). Dual-band pattern reconfigurable 5G antenna using dual-band BLC. In *2018 IEEE conference on antenna measurements & applications (CAMA)* (pp. 1-4). IEEE.

Lee, J., & Kim, S. (2018). "Küp Uydu Mikroşerit Antenlerinin Tasarımı ve Uygulanması." *Uzay Teknolojisi ve Uygulamaları Konferansı Bildirileri*, 67-78.

Nakayama, D., Sano, K., Matsushima, T., & Fukumoto, Y. (2024, April). Microwave Patch Antenna Placement on 6U CubeSat. In *2024 International Conference on Electronics Packaging (ICEP)* (pp. 193-194). IEEE.

Pittella, E., Pisa, S., Pontani, M., Nascetti, A., D'Atanasio, P., Zambotti, A., & Hadi, H. (2016). Reconfigurable S-band patch antenna system for cubesat satellites. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 31(5), 6-13.

Pushpalatha, M., Namana, N., Navadagi, T. S., & Varun, D. (2023). Design of Wide-Band Microstrip Antenna for S-Band Telemetry Applications. *Advanced Electromagnetics*, 12(1), 70-76.

Said, A. O., & Guennoun, Z. (2024). Dual-band circularly polarized slotted patch antenna for S-band CubeSat communication system. *CEAS Space Journal*, 1-12.

Smith, C., & Jones, D. (2019). "Uzay İletişim Sistemleri: Temeller ve Uygulamalar." *Astronomi ve Uzay Bilimleri Bülteni*, 10(2), 45-57.

Sun, M., Zhang, Z., Zhang, F., & Chen, A. (2019). L/S multiband frequency-reconfigurable antenna for satellite applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 18(12), 2617-2621.

Supreeratitukul, N., Akkaraekthalin, P., Kawdungta, S., & Phongcharoenpanich, C. (2024, March). Deployable Wideband Circularly Polarized S-Band Antenna Array for CubeSat Applications. In *2024 12th International Electrical Engineering Congress (iEECON)* (pp. 1-3). IEEE.

Yao, Y., Liao, S., Wang, J., Xue, K., Balfour, E. A., & Luo, Y. (2016). A New Patch Antenna Designed for CubeSat: Dual feed, LVS dual-band stacked, and circularly polarized. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 58(3), 16-21.

Zafrane, M. A., Mebrek, M. A., Souillah, H., Madouri, Z. B., & Abes, B. (2023). Novel design and optimization of S band patch antenna for space application by using a gravitational search algorithm. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 17(3), 1131-1148.