



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**5G HABERLEŞME SİSTEMLERİ İÇİN BİR ANTEN TASARIMI
ARAYÜZÜNÜN GELİŞTİRİLMESİ**

Ayşe Berçem KAYAKÖKÜ

**Ocak-2025
BATMAN**

**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**5G HABERLEŞME SİSTEMLERİ İÇİN BİR ANTEN TASARIMI
ARAYÜZÜNÜN GELİŞTİRİLMESİ**

Ayşe Berçem KAYAKÖKÜ

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Abdulkerim ÖZTEKİN**

Diğer Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Melih KUNCAN Doç. Dr. Yılmaz KAYA

**Ocak-2025
BATMAN**

TEZ KABUL VE ONAYI

Ayşe Berçem KAYAKÖKÜ tarafından hazırlanan “5G Haberleşme Sistemleri İçin Bir Anten Tasarımı Arayüzünün Geliştirilmesi” adlı tez çalışması 21/01/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik – Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç.Dr. Melih KUNCAN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Abdulkerim ÖZTEKİN

Üye

Doç.Dr. Yılmaz KAYA

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü
Dr. Öğr. Üyesi Ömer Murat ÖTER

ETİK BEYANI

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabullendiğimi bildiririm.

ETHICAL DECLARATION

I declare that all the information in this thesis has been obtained within the framework of ethical behavior and academic rules, and that the source of any statements and information that do not belong to me in this study prepared in accordance with the thesis writing rules has been fully cited, and I declare that I accept all kinds of legal responsibility in case of any contrary situation.

İmza
Ayşe Berçem KAYAKÖKÜ
Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

5G HABERLEŞME SİSTEMLERİ İÇİN BİR ANTEN TASARIMI ARAYÜZÜNÜN GELİŞTİRİLMESİ

Ayşe Berçem KAYAKÖKÜ

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Abdulkerim ÖZTEKİN

2025, 35 Sayfa

Günümüz telekomünikasyon teknolojilerinde 5G, yüksek hız ve düşük gecikme avantajları ile dikkat çekici bir konuma ulaşmıştır. Bu çalışma, 5G haberleşme sistemlerine yönelik anten tasarımını daha kolay ve verimli hale getirmek amacıyla MATLAB tabanlı bir araç kutusu geliştirilmesini konu almaktadır. Geliştirilen grafiksel kullanıcı arayüzü (GUI), anten tasarımında ihtiyaç duyulan temel parametrelerin hesaplanmasını ve bu tasarımla ilgili çeşitli analizlerin yapılmasını mümkün kılmaktadır. MATLAB'in sunduğu fonksiyonlar sayesinde antenin genişliği, uzunluğu, giriş empedansı gibi kritik parametreler kolayca hesaplanabilir hale getirilmiştir. Ayrıca, geliştirilen bu araç kutusu, geri dönüş kaybı, S11 kayıp analizi, radyasyon örüntüsü analizi ve hüzme genişliği gibi önemli analizleri de desteklemektedir. Bu analizler, anten tasarımında 5G sistemlerinin yüksek performans ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik önemli veriler sunar. Bu tez çalışmasında, belirlenen tasarım kriterlerine göre anten parametreleri hesaplanmış ve analiz edilmiştir. Bu bağlamda, geliştirilen araç kutusu, anten tasarım sürecini hızlandırarak mühendis ve araştırmacıların işini kolaylaştıran bir araç olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, bu arayüzün, 5G teknolojilerinin sunduğu potansiyeli en üst düzeye çıkarmada önemli bir katkı sağlayacağı öngörülmektedir. Sonuç olarak, anten tasarımında zaman kazandıran ve performans optimizasyonunu destekleyen bu arayüz, 5G sistemleri için etkili bir çözüm sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Haberleşme sistemleri, 5G, Anten, Araç kutusu

ABSTRACT

MASTER THESIS

DEVELOPMENT OF AN ANTENNA DESIGN INTERFACE FOR 5G COMMUNICATION SYSTEMS

Ayşe Berçem KAYAKÖKÜ

Batman University Graduate Education Institute

Electrical - Electronics Engineering Department of Science

Advisor: Asst. Prof. Dr Abdulkerim ÖZTEKİN

2025, 35 Pages

In today's telecommunications technologies, 5G has reached a remarkable position with its high-speed and low-latency advantages. This study focuses on the development of a MATLAB-based toolbox designed to make antenna design for 5G communication systems more efficient and easier. The developed graphical user interface (GUI) allows for the calculation of essential parameters needed in antenna design and facilitates various related analyses. With the help of MATLAB functions, critical parameters such as antenna width, length, and input impedance can be easily calculated. Additionally, the toolbox supports important analyses such as return loss, S11 loss analysis, pattern analysis, and beamwidth analysis. These analyses provide valuable data for meeting the high-performance demands of 5G systems in antenna design. In this thesis, antenna parameters were calculated and analyzed based on the defined design criteria. In this context, the developed toolbox stands out as a tool that accelerates the antenna design process and simplifies the work of engineers and researchers. Furthermore, it is anticipated that this interface will make a significant contribution to maximizing the potential of 5G technologies. In conclusion, this interface offers an effective solution for 5G systems by saving time in antenna design and supporting performance optimization.

Keywords: Communications system, 5G, Antenna, Toolbox

ÖN SÖZ

Günümüz dünyasında, iletişim teknolojileri hızla gelişmekte ve bu gelişim, bireylerin ve toplumların yaşamlarını derinden etkilemektedir. Bu tez çalışması, 5G teknolojisinin sağladığı olanakları göz önünde bulundurarak, anten tasarım süreçlerini daha verimli hale getirmeyi amaçlayan bir MATLAB tabanlı araç kutusu geliştirmeyi hedeflemiştir. Geliştirilen grafiksel kullanıcı arayüzü (GUI), mühendisler ve araştırmacılar için önemli bir kolaylık sunarak, 5G sistemlerinin gereksinimlerini karşılamak üzere gerekli parametrelerin hızlı ve doğru bir şekilde hesaplanmasına olanak tanımaktadır.

Bu çalışmanın hazırlanması sürecinde desteklerini esirgemeyen aileme, teşekkürü bir borç bilirim. Her zaman yanımda olan ve bana güç veren ailemin katkıları, bu tezin başarılı bir şekilde tamamlanmasında büyük rol oynamıştır.

Ayrıca, değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Abdulkerim ÖZTEKİN'e, bu süreçteki rehberliği ve verdiği destek için içten teşekkürlerimi sunarım. Bilgi ve deneyimleriyle bana ilham veren hocam, bu çalışmanın şekillenmesinde önemli bir etkiye sahiptir.

Ayşe Berçem KAYAKÖKÜ
BATMAN-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar LİSTESİ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. GENEL BİLGİLER	7
3.1. 3G Haberleşme Sistemleri	7
3.2. 4G ve 4.5G Haberleşme Sistemleri.....	7
3.3. 5G Haberleşme Sistemleri	8
3.1.1. Endüstri ve IoT uygulamaları	9
3.3.2. Çalışmanın 5G anten tasarımı ile ilişkisi	9
3.4. Anten Analiz Yöntemleri.....	9
3.4.1. Geri dönüş kayıp analizi	9
3.4.2. S11 kayıp analizi.....	10
3.4.3. Radyasyon örüntüsü analizi	10
3.4.4. Hüzme genişliği analizi	10
4. MATERYAL VE YÖNTEM	12
4.1. Temel Anten Parametrelerinin Hesaplanması	12
4.2. Yüksek Frekans Verilerinin Entegrasyonu	13
4.3. Matlab GUI Arayüz Tasarımı ve Sonuçların Görselleştirilmesi	15
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	17
5.1. Program Arayüz Tasarımı.....	19
5.1.1. Temel anten parametrelerinin hesaplanması.....	19
5.1.2. Anten görselinin tasarlanması.....	20
5.2. Anten Tasarım Analizleri.....	21
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	24
KAYNAKLAR	26
EKLER	29

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Alt programlar listesi	14
Tablo 5.1. Örnek anten tasarım parametreleri.....	18
Tablo 5.2. Örnek temel anten parametreleri çıktıları.....	19

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 4.1. Değişken etiketleme işlemi.....	14
Şekil 4.2. Tasarlanan arayüzün blok diyagramı.....	15
Şekil 5.1. Arayüz görünümü.....	17
Şekil 5.2. Temel anten tasarım parametreleri sonuçları.....	18
Şekil 5.3. Örnek olarak tasarlanan anten görseli.....	19
Şekil 5.4. Geri dönüş kayıp analizi.....	20
Şekil 5.5. S11 kayıp analizi.....	21
Şekil 5.6. Radyasyon örüntüsü analizi.....	21
Şekil 5.7. Hüzme genişliği analizi.....	22

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

ϵ_R	: Dielektrik sabiti
ϵ_{eff}	: Efektif dielektrik geçirgenliği
c	: Işık hızı
f_0	: Tasarım frekansı
h	: Dielektrik malzeme kalınlığı
jX_{in}	: Reaktans
L	: Anten Uzunluğu
r	: Yansıma katsayısı
R_{in}	: Rezistif direnç
R_L	: Geri dönüş kaybı
V_{max}	: Gerilim duran dalga maksimum değeri
V_{min}	: Gerilim duran dalga minimum değeri
W	: Anten genişliği
Z_{in}	: Anten giriş empedansı
Z_0	: Besleme empedansı

Kısaltmalar

AR	: Augmented reality (Arttırılmış gerçeklik)
CAD	: Computer aided design (Bilgisayar destekli tasarım)
CDMA	: Code division multiple access (Kod Bölmeli Çoklu Erişim)
CPW	: Coplanar waveguide (Eş düzlemsel dalga klavuzu)
CST	: Computer simulation technology (Bilgisayar simülasyon teknolojisi)
ÇGÇÇ	: Çoklu giriş, çoklu çıkış
dB	: Desibel
GHz	: Gigahertz
GUI	: Graphical user interface (Grafiksel kullanıcı arayüzü)
IoT	: Internet of things (Nesnelerin interneti)
MIMO	: Multi Input Multi Output (Çoklu giriş, çoklu çıkış)
OFDMA	: Orthogonal Frequency Division Multiple Access (Ortogonal frekans bölmeli çoğullama)
SMS	: Short Message Service (Kısa mesaj hizmeti)
VR	: Virtual reality (Sanal gerçeklik)
W-CDMA	: Wideband division multiple access (Geniş bant kod bölmeli çoklu erişim)
Wi-Fi	: Wireless fidelity (Kablosuz bağlantı alanı)
WLAN	: Wireless local area network (Kablosuz yerel ağ)
WSVR	: Voltage standing wave ratio (Gerilim duran dalga oranı)

1. GİRİŞ

Günümüzde, hızla gelişen teknoloji ile birlikte telekomünikasyon sektörü de büyük bir dönüşüm yaşamaktadır. Bu dönüşüm, giderek artan veri trafiği, mobil cihaz kullanımındaki yaygınlık ve bağlantı hızlarına olan talebin sürekli artmasıyla daha belirgin hale gelmektedir. İnsanların günlük yaşamlarının ayrılmaz bir parçası haline gelen mobil iletişim, artık sadece sesli görüşmelerden ibaret değildir. İnternet erişimi, multimedya içeriklerin akışı, bulut hizmetleri ve daha pek çok dijital hizmet, güçlü ve güvenilir bir iletişim altyapısını zorunlu kılmaktadır. Bu gereklilikler doğrultusunda, telekomünikasyon sektörü yeni nesil iletişim sistemlerine olan ihtiyacı giderek daha fazla hissetmektedir. İşte tam da bu noktada, 5G teknolojisi devreye girmekte ve günümüzün iletişim ihtiyaçlarına yanıt veren en ileri düzey sistem olarak karşımıza çıkmaktadır (Türkmen, 2021).

5G, önceki nesil iletişim sistemlerinden farklı olarak, sadece bireysel kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılamakla kalmayıp, endüstriyel uygulamalar, nesnelerin interneti (IoT), artırılmış gerçeklik (AR), sanal gerçeklik (VR) ve akıllı şehirler gibi birçok yenilikçi alanı da desteklemektedir. 5G teknolojisinin sunduğu yüksek hız, düşük gecikme süresi, geniş bant genişliği ve daha fazla cihaz bağlantısı kapasitesi, bu teknolojiyi telekomünikasyon alanında devrim niteliğinde bir yenilik haline getirmiştir. Örneğin, 5G'nin sağladığı düşük gecikme süresi, otonom araçlar gibi yüksek hassasiyet gerektiren uygulamalar için kritik öneme sahiptir. Aynı şekilde, nesnelerin interneti kapsamında milyonlarca cihazın aynı anda ağa bağlanabilmesi, 5G'nin sunduğu geniş cihaz bağlantısı kapasitesi sayesinde mümkün hale gelmektedir. Bu özellikler, 5G'yi sadece bir iletişim aracı olmaktan çıkarıp, dijital dönüşümün itici gücü haline getirmektedir (Gökdemir, 2020).

Ancak, 5G teknolojisinin sunduğu bu geniş imkanlardan tam anlamıyla faydalanabilmek, uygun ve etkili anten tasarımlarının gerçekleştirilmesi ile mümkün olacaktır. 5G'nin yüksek frekanslarda çalışması, anten tasarımı sürecini oldukça karmaşık hale getirmektedir. Anten tasarımı, sadece bir donanım tasarımı olarak görülmemelidir; aynı zamanda sinyalin etkin bir şekilde iletilmesi, parazitlerin en aza indirilmesi ve genel sistem performansının optimize edilmesi gibi birçok kritik faktörü içerir. Bu süreç, genellikle mühendisler ve araştırmacılar için zaman alıcı ve zorlu bir görevdir. Çünkü doğru anten parametrelerinin belirlenmesi, optimize edilmesi ve performans analizlerinin

yapılması, 5G'nin sunduğu yüksek frekanslar ve geniş bant genişliği gibi özelliklerle uyumlu olmalıdır (Güler,2022).

CST (Computer Simulation Technology Studio Suite) gibi simülasyon programları, anten tasarım süreçlerinde sıkça kullanılan araçlar arasındadır. Bu programlar, simülasyon işlemlerini gerçekleştirebilmesi için kullanıcının ihtiyaç duyduğu anten özelliklerine göre temel anten tasarım parametrelerini manuel olarak bulması gerekmektedir. Örneğin, bu simülasyon programlarının etkin bir şekilde kullanılabilmesi için temel anten parametrelerinin manuel olarak hesaplanması gerekmektedir. Her tasarım değişikliğinde bu parametrelerin tekrar hesaplanması ve programa tanımlanması, süreçte hem zaman kaybına yol açmakta hem de hata olasılığını artırmaktadır. Ayrıca, mevcut simülasyon programları, 5G anten tasarımı için gerekli olan özel parametreleri ve koşulları dikkate almakta yeterli olmayabilir. Bu durum, mühendislerin ve araştırmacıların daha karmaşık ve detaylı tasarım süreçleri yürütmelerini zorlaştırmaktadır.

Bu bağlamda, 5G anten tasarım süreçlerinde daha verimli ve etkin araçların geliştirilmesi kaçınılmaz hale gelmiştir. Araştırmacıların ve telekomünikasyon sektöründeki mühendislerin ihtiyaç duyduğu araçlar arasında, 5G anten tasarım parametrelerini tanıyan, istenilen telekomünikasyon ihtiyaçlarına göre uygun temel anten parametrelerini otonom olarak tespit eden, kayıp analizleri yapabilen ve tüm bu işlemlerin sonuçlarını istenilen formatta sunabilen bir arayüz bulunmaktadır. Bu tez çalışması, bu ihtiyaçları karşılamak amacıyla, 5G haberleşme sistemleri için uygun anten tasarım süreçlerinde kullanılabilen bir arayüz tasarımını hedeflenmiştir.

Tez kapsamında, MATLAB programı kullanılarak bir araç kutusu (toolbox) geliştirilmiştir. Bu araç kutusu, MATLAB GUI (Graphical User Interface - Grafiksel Kullanıcı Arayüzü) aracılığıyla kullanıcıların istenilen haberleşme ihtiyaçlarına göre temel anten parametrelerini belirlemelerine, bu parametrelere göre kayıp analizlerini gerçekleştirmelerine ve sonuçları daha anlaşılır bir formatta sunmalarına olanak tanımaktadır. Geliştirilen arayüz, kullanıcıların 5G anten tasarım süreçlerini daha verimli ve daha az hata ile yürütmelerini sağlamayı amaçlamaktadır. Bu araç kutusu, özellikle mühendisler ve araştırmacılar için önemli bir kolaylık sağlayarak, tasarım süreçlerinin hızlandırılmasına ve daha yüksek doğrulukta sonuçların elde edilmesine katkıda bulunacaktır.

Bunun yanı sıra, bu araç kutusu, kullanıcıların 5G anten tasarım parametrelerini daha iyi anlamalarına ve bu parametreleri optimize etmelerine de yardımcı olacak şekilde

tasarlanmıştır. Arayüz, kullanıcılara anten tasarımı sürecinde daha fazla kontrol sunarak, farklı senaryoları denemelerine ve en uygun tasarım parametrelerini belirlemelerine olanak tanır. Bu özellik, 5G teknolojisinin getirdiği yüksek frekanslar ve karmaşık sistem gereksinimlerine uyum sağlamak açısından kritik öneme sahiptir.

Sonuç olarak, bu tez çalışması, 5G haberleşme sistemleri için anten tasarımı yapan araştırmacıların ve mühendislerin ihtiyaç duyduğu araçları sağlayarak, bu alandaki çalışmalarını hızlandırmayı ve daha verimli hale getirmeyi amaçlamaktadır. Geliştirilen MATLAB araç kutusu ve GUI arayüzü, 5G teknolojisinin sunduğu avantajlardan tam anlamıyla yararlanılmasına katkıda bulunacak önemli bir yenilik olarak değerlendirilebilir. Bu arayüz sayesinde, 5G anten tasarım süreçleri daha erişilebilir, anlaşılır ve uygulanabilir hale gelecektir. Böylece, araştırmacılar ve mühendisler, 5G anten tasarım süreçlerini daha verimli bir şekilde yönetebilecek ve bu süreçte karşılaşılabilecekleri zorlukları daha kolay aşabileceklerdir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

5G anten tasarımları konusunda literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, araştırmacıların ilgisinin anten besleme yöntemleri, performans geliştirme yöntemleri, tek anten, iki portlu ÇGÇÇ (çok girişli çok çıkışlı) anten ve dört portlu ÇGÇÇ anten tasarımları, milimetre dalga anten tasarımları ve mikroşerit anten tasarımları üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir (Güler, 2022). Araştırmacıların ilgisini çeken bu konularla ilgili güncel literatür taraması ve çalışmaların özetleri aşağıda anlatılmaktadır.

Yama antenlerin performans parametrelerinin iyileştirilmesi için yaygın bir biçimde kullanılan yöntem ışık yamanın şeklinin değiştirilmesidir. Literatürde milimetre dalga frekansında çalışan değişik yama şekillerine sahip antenler bulunmaktadır (Güler, 2022). Zaidi ve arkadaşları yaptıkları çalışmada yamanın şeklinin değiştirilmesi yöntemi ile performans iyileştirme işlemi dairesel yama üzerinde gerçekleştirmişlerdir (Zaidi vd., 2016). Yıldırım ve Başdemir yaptıkları çalışmada yamanın şeklinin değiştirilmesi yöntemi ile performans iyileştirme işlemi altıgen yama üzerinde gerçekleştirmişlerdir (Yıldırım ve Başdemir, 2017).

Cüneray ve arkadaşları yaptıkları çalışmada yamanın şeklinin değiştirilmesi yöntemi ile performans iyileştirme işlemi hilal yama üzerinde (Cüneray vd., 2020), Ahmad ve arkadaşları şemsiye şeklinde yama üzerinde (Ahmad vd., 2020), Kumawat eliptik yama üzerinde (Kumawat, 2021), Ruchi ve arkadaşları ters çevrilmiş C şeklinde yama üzerinde (Ruchi vd., 2021), Bamy ve arkadaşları dikdörtgen geometrisinden türetilmiş koyun şeklinde yama üzerinde (Bamy vd., 2021) gerçekleştirmişlerdir.

Yama şeklinin değiştirilerek anten performansının değiştirilmesi çalışmalarında en çok dikdörtgen şeklindeki yama kullanılmaktadır. Rahman ve arkadaşları 2016 yılında, Fante ve arkadaşları 2020, Przesmycki ve arkadaşları 2020 yıllarına yaptıkları çalışmalarda yamanın şeklinin değiştirilmesi yöntemi ile performans iyileştirme işlemi dikdörtgen yama üzerinde gerçekleştirmişlerdir (Rahman vd., 2016; Fante vd., 2020; Przesmycki vd., 2020).

Araştırmacıların ilgisini çeken milimetre dalga anten tasarımlarında ise güncel literatür taraması yapılmış ve yapılan çalışmalar burada özetlenmiştir. Ahmad ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada 5G haberleşme sistemleri için milimetre dalga bir anten tasarlanmıştır. Rezonans frekansları 29,5 ve 30,5 GHz olan antenin boyutları $4,8 \times 5 \times 0,508 \text{ mm}^3$ boyutlarındadır. Nispeten küçük bir anten yapısına sahip olsa da

sağladığı bant genişliği bakımından oldukça düşüktür (Ahmad vd., 2020; Türkmen, 2021). Qayyum ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada 5G haberleşme sistemleri için 28 GHz (27,6–28,55 GHz, 3,10%) rezonans frekans aralığında çalışan bir mikroşerit anten tasarlanmıştır. $7,23 \times 7,23 \text{ mm}^2$ boyutlarında tasarlanan antenin rezonans frekans aralığının oldukça düşük olduğu görülmüştür (Qayyum vd, 2020; Türkmen, 2021).

Saeed ve arkadaşları yaptıkları çalışmada $8,6 \times 9,2 \times 0,6 \text{ mm}^3$ boyutlarında düşük profilli 5G sistemler için milimetre dalga bir anten önermişlerdir. Rezonans frekansları şekilde görülen anten multiband (çoklu bant) özellik taşımaktadır. Anten geometrisi mikroşerit antenin rezonans frekans aralıkları düşüktür (Saeed vd., 2021; Türkmen, 2021). Jilani ve arkadaşları yaptıkları çalışmada 5G kablosuz sistemler ve uygulamalara yönelik tasarlanan milimetre dalga anten verilmiştir. Antenin ölçüm sonuçları 25,1–37,5 GHz aralığında bir bant genişliği sunmaktadır. Antenin maksimum kazanç değeri ise 36,8 GHz'de 9,86 dBi'dır. T şeklinde tasarlanan anten çalışma aralığında %80 üzerinde verimlilik sunmaktadır (Jilani vd., 2016; Türkmen, 2021).

Araştırmacıların ilgisini çeken bir diğer konu da mikroşerit yama anten tasarımı olmuştur. Mak ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, dairesel polarize yama antenlerinin 5G teknolojisi için incelenmesi ve sunulması ele alınmıştır. 5G cep telefonlarının çeşitli uygulamalarda kullanıldığı, özellikle uydu iletişimi, hücresel ağlar ve güvenlik iletişimi için önemli olduğu belirtilmiştir. 5G ağlarında kullanılacak uygun antenlerin seçiminde çalışma frekansı, polarizasyon, üretim maliyeti ve anten boyutu gibi parametrelerin dikkate alındığı vurgulanmıştır. Bu bağlamda, dörtgen şeklindeki katlanabilir tip antenin boyutunu küçültmek için ek yuvalar eklenmiştir. Çalışma, yama antenin ışın genişliğini artırmak için iki farklı yöntem önermiştir: antenin dielektrik alttaş ile çevrilmesi ve antenin arkasına metalik bir blok eklenmesi (Mak vd, 2014) (Kösem, 2021).

Summakieh ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, geniş bantlı anten tasarımı ele alınmıştır. Mikroşerit hattı beslemeli dikdörtgen şekilli bir antenin geniş bantlı anten olarak kullanılması incelenmiştir. Bu çalışmada, antenin çalışma frekansı, yönlülüğü, bant genişliği ve kazancı gibi parametrelerin ölçüldüğü belirtilmiştir (Summakieh vd., 2016). Chauhan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, gelecekteki 5G haberleşmesi için milimetre dalgalı mobil iletişim mikroşerit anten tasarımını hedeflemiştir. Tek katmanlı bir RT/Duroid 5880 alt tabakası kullanılarak tasarlanan antenin yüksek kazanç ve verimlilik sağladığı ifade edilmiştir (Chauhan vd., 2014).

Mohan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, 5G hücresel iletişim için CPW (Eş düzlemsel dalga klavuzu) beslemeli anten tasarımı üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında,

antenin farklı rezonans frekanslarında çalışabildiği ve WLAN, Wi-Fi ve Hiperlan gibi alanlar için uygun olduğu belirtilmiştir (Mohan vd., 2016). Agarwal ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, 5G mobil uygulama alanlarında anten dizisi tasarımını önerilen frekans aralığı için daha iyi kazanç ve performansta dizayn etmişlerdir. Önerdikleri anten üç alt diziden oluşmakta olup her bir alt dizi tarama alanının bir bölümünü kapsamaktadır. Ana tasarımdaki zorluk, yüksek kazançlı 5G cep telefonları için radyasyon ışıma alanının en az yarısını kaplamaktadır. Bu özelliği elde etmek için üç doğrusal alt yama anten dizisi tasarlamışlardır. Sonuç olarak her dizide 13 dB'lik bir kazanç elde etmişlerdir (Agarwal vd., 2016; Kösem, 2021).

Summakieh ve arkadaşları yaptıkları bir diğer çalışmada, MIMO teknolojisi ve hizmet kalitesinden yararlanarak oluklu yama antenin rezonans frekansının 5 GHz olduğu belirtilmişlerdir. Bu çalışma, 5G teknolojisi için genişbant antenlerin tasarımına katkı sağlamıştır (Summakieh vd., 2016).Güler yaptığı çalışmada çoklu giriş-çoklu çıkış anten tasarımı gerçekleştirmiştir. (Güler, 2022)

3. GENEL BİLGİLER

Bu bölümde, 3G, 4G/4.5G ve 5G haberleşme sistemleri ve anten analiz yöntemleri hakkında genel bilgiler verilmiş ve bu sistemlerin gelişim süreçleri ile teknolojik özellikleri incelenmiştir. Bu tarihsel ve teknik çerçeve, 5G haberleşme sistemlerinde anten tasarımına odaklanan çalışmamızın temel altyapısını oluşturmaktadır.

3.1. 3G Haberleşme Sistemleri

3G (Üçüncü Nesil) haberleşme sistemleri, mobil iletişimde devrim niteliğinde bir döneme işaret eder. 2000'li yılların başında kullanılmaya başlanan 3G teknolojisi, daha önceki 2G sistemlerine göre çok daha yüksek veri hızları sunmayı hedeflemiştir. Temel farklarından biri, sesli iletişimden veri iletimine geçişte önemli bir adım olmasıdır. 3G sistemleri, yalnızca telefon görüşmeleri ve kısa mesaj hizmeti (SMS) değil, aynı zamanda mobil internet ve multimedya içeriklerinin taşınmasına olanak sağlamıştır. 3G teknolojisinin en önemli yeniliklerinden biri, Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA) ve Geniş Bant CDMA (W-CDMA) gibi teknikleri kullanmasıdır. Bu teknikler, daha fazla sayıda kullanıcının aynı frekans bandını paylaşarak veri iletiminin optimize edilmesine imkan tanımıştır. 3G'nin sunduğu teorik veri hızları, 2 Mbps'ye kadar çıkabilmektedir; bu da video akışı, görüntülü aramalar ve mobil geniş bant uygulamaları gibi yeni nesil hizmetleri mümkün kılmıştır. 3G sistemleri, özellikle mobil internetin yaygınlaşmasında ve küresel olarak mobil veri kullanımının artmasında büyük bir rol oynamıştır. Bu dönemde, mobil cihazların internet tarayıcıları ve uygulamalar ile uyumluluğu artmış, kullanıcılara daha hızlı ve daha geniş veri erişimi sunulmuştur. 3G'nin getirdiği yüksek bant genişliği ve veri hızları, sosyal medya uygulamalarının ve dijital içerik tüketiminin hızla büyümesine katkıda bulunmuştur (Dahlman vd., 2010).

3.2. 4G ve 4.5G Haberleşme Sistemleri

4G (Dördüncü Nesil) haberleşme sistemleri, önceki nesillerden önemli ölçüde farklıdır. 2009 yılında tanımlanan 4G, tamamen IP tabanlı bir ağ yapısını benimsemiştir. 4G'nin getirdiği en önemli yeniliklerden biri, OFDMA (Ortogonal Frekans Bölmeli Çoklu Erişim) ve MIMO (Çoklu Giriş, Çoklu Çıkış) tekniklerini kullanmasıdır. Bu

teknolojiler, spektrum verimliliğini artırarak, veri hızlarının yükseltilmesini sağlamıştır. 4G'nin teorik veri hızları, 100 Mbps'ye kadar çıkabilmekte, hatta 1 Gbps gibi yüksek hızlara ulaşabilmektedir. Bu yüksek hızlar, sadece daha hızlı internet taraması anlamına gelmeyip; aynı zamanda HD video akışı, video konferanslar ve gelişmiş bulut hizmetleri gibi uygulamaların da yaygınlaşmasına yol açmıştır. 4G, özellikle mobil genişbant uygulamaları için optimize edilmiş bir sistemdir ve veri merkezli hizmetleri ön plana çıkarmıştır. 4G ile gelen yeniliklerin yanı sıra, 4G'nin geliştirilmiş bir versiyonu olan LTE-Advanced veya halk arasında bilinen adıyla 4.5G, daha yüksek veri hızları ve daha geniş kapsama alanı sunmaktadır. LTE-Advanced, spektrum kaynaklarının daha verimli kullanımını sağlayan teknikler geliştirmiştir. Carrier Aggregation (Taşıyıcı Birleştirme) yöntemi ile birden fazla frekans bandı birleştirilerek kullanıcı başına daha yüksek veri hızları sunulabilmektedir (Holma vd., 2011).

4.5G teknolojisi, özellikle daha yoğun şehirleşmiş alanlarda ve daha yüksek veri talebi olan bölgelerde kullanıcı deneyimini geliştirmek üzere tasarlanmıştır. Mobil cihazlardan IoT cihazlarına kadar geniş bir yelpazede kullanılan bu teknoloji, 5G'ye geçiş için önemli bir köprü görevi görmüştür (Cox, 2012).

3.3. 5G Haberleşme Sistemleri

5G (Beşinci Nesil) haberleşme sistemleri, önceki nesillerden çok daha büyük bir sıçrama yaparak iletişimde devrim yaratmıştır. 5G, sadece hız odaklı değil; düşük gecikme süresi, daha fazla cihaz bağlantısı ve yüksek güvenilirlik gibi kriterlere de dayanmaktadır. 5G'nin en dikkat çekici yeniliklerinden biri, Milimetre Dalga Teknolojisi (mmWave) kullanarak yüksek frekans bantlarında çalışmasıdır. Bu, anten tasarımı ve radyo frekansı yönetimi açısından önemli zorluklar ortaya çıkarmış olsa da, bu yüksek frekanslar sayesinde çok yüksek veri hızları ve düşük gecikme süreleri elde edilmektedir (Andrews vd., 2014).

5G'nin teorik veri hızları, 10 Gbps'ye kadar çıkabilmektedir. Bu hız, ultra yüksek çözünürlüklü video akışı, sanal gerçeklik (VR), artırılmış gerçeklik (AR) gibi yeni nesil uygulamaların sorunsuz bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Ayrıca, 5G'nin düşük gecikme süresi, otonom araçlar, uzaktan cerrahi ve endüstriyel otomasyon gibi uygulamalar için kritik öneme sahiptir (Boccardi vd., 2014).

3.1.1. Endüstri ve IoT uygulamaları

5G, sadece bireysel kullanıcılar için değil, endüstriyel uygulamalar için de büyük bir dönüşüm sağlamaktadır. Özellikle Nesnelerin İnterneti (IoT) kapsamında milyonlarca cihazın aynı anda ağa bağlanabilmesi, endüstriyel üretim hatları, akıllı şehirler ve tarım gibi birçok alanda yenilikçi çözümler sunmaktadır. 5G, geniş cihaz bağlantı kapasitesi ve düşük güç tüketimi ile IoT uygulamaları için ideal bir çözüm sunmaktadır. (Andrews vd, 2014)

3.3.2. Çalışmanın 5G anten tasarımı ile ilişkisi

5G teknolojisinin yüksek frekanslı milimetre dalga bantlarında çalışması, anten tasarımını karmaşık hale getirmiştir. Daha küçük boyutlu, yüksek kazançlı ve çoklu anten sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, 5G anten tasarımı için yeni çözümler geliştirmek ve bu süreçleri optimize etmek büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda geliştirilen araç kutusu, 5G anten tasarımında hız ve doğruluk sağlayarak mühendislerin işini kolaylaştırmayı amaçlamaktadır.

3.4. Anten Analiz Yöntemleri

Anten analiz yöntemleri, anten tasarım süreçlerinde sinyal performansının değerlendirilmesi ve optimizasyonu açısından kritik öneme sahiptir. Bu analizler, antenin verimliliğini, uyumunu ve çevresel faktörlere karşı duyarlılığını değerlendirir. Aşağıda dört temel anten analiz yöntemini ayrıntılı olarak ele alınmıştır: geri dönüş kaybı (return loss) analizi, S11 kayıp analizi, radyasyon örüntüsü (radiation pattern) analizi ve hüzme genişliği (beamwidth) analizi.

3.4.1. Geri dönüş kayıp analizi

Geri dönüş kaybı, bir antenin iletmediği sinyalin ne kadarının geri yansıtıldığını ölçer. Antenin empedansı ile besleme hattının empedansı arasındaki uyumsuzluklar sonucunda enerji geri dönebilir, bu da sinyal kaybına yol açar. Geri dönüş kaybı, dB cinsinden ölçülür ve antenin verimli bir şekilde sinyal iletmesi için bu değer düşük olması istenir. Yüksek geri dönüş kaybı, antenin besleme hattına göre iyi bir uyum göstermediğini ve

enerjinin çoğunun geri döndüğünü gösterir. Bu analizde, geri dönüş kaybının -10 dB'den daha düşük olması, genellikle kabul edilebilir bir uyumluluğun işareti olarak kabul edilir. Bu da, iletilen enerjinin yalnızca %10'unun geri yansıdığı ve %90'ının başarıyla iletildiği anlamına gelir (Balanis, 2016).

3.4.2. S11 kayıp analizi

S11 parametresi, bir antenin yansıyan gücüyle ilgili önemli bir ölçümdür. "S" parametreleri, mikrodalga devrelerde yaygın olarak kullanılan bir ölçüm sistemidir ve "S11" özellikle giriş portunda geri dönen sinyali ifade eder. Bir anten için S11 değeri, antene uygulanan sinyalin ne kadarının geri döndüğünü gösterir. S11 kaybı analizinde, antenin frekans bandı boyunca uyumlu olup olmadığı değerlendirilir. S11 değeri 0 dB ise bu, tüm sinyalin geri döndüğünü ve hiçbir iletimin gerçekleşmediğini ifade ederken, -10 dB ve altındaki S11 değerleri antenin iyi bir şekilde ayarlandığını ve çoğu enerjinin iletildiğini gösterir. Özellikle yüksek frekanslı haberleşme sistemleri için düşük S11 değerleri, verimli bir sinyal iletimi açısından büyük öneme sahiptir (Rappapost, 2015).

3.4.3. Radyasyon örüntüsü analizi

Radyasyon radyasyon örüntüsü analizi, bir antenin sinyal gücünü farklı yönlerde nasıl yaydığını inceleyen bir yöntemdir. Bu analiz, antenin çevresine yayılan elektromanyetik dalgaların dağılımını gösterir. Radyasyon örüntüsü, üç boyutlu bir grafikte genellikle doğrusal (linear) veya logaritmik ölçeklerde gösterilir. Anten tasarımında, bu radyasyon örüntüsünün yönlülüğü, belirli bir yönde maksimum sinyal gücü sağlamak amacıyla optimize edilir. Radyasyon örüntüsü genellikle iki bileşenle açıklanır: ana lob ve yan loblar. Ana lob, antenin maksimum güç yaydığı yönü gösterirken, yan loblar, istenmeyen yönlere yayılan enerjiyi ifade eder. Ana lobun genişliği ve yan lobların şiddeti, antenin yönlülüğünü belirleyen önemli faktörlerdir (Balanis, 2016).

3.4.4. Hüzme genişliği analizi

Hüzme genişliği, bir antenin ana lobunun genişliğini ifade eden bir ölçümdür. Bu ölçüm, radyasyon deseninin 3 dB seviyesinde (ana lobun maksimum güç noktasının

yarısı) düşme noktaları arasında kalan açığı tanımlar. Hüzme genişliği, antenin yönlülüğünü etkileyen kritik bir faktördür ve dar hüzme genişliği, daha yönlü (direktif) bir anten anlamına gelir (Stutzman vd., 2012).

Hüzme genişliği analizinde, dar bir ışın genişliği istenilen bölgeye maksimum sinyal gücü yönlendirilmesine olanak tanırken, geniş hüzme genişliği, daha geniş bir alana sinyal yaymak için kullanılır. Bu analiz, özellikle 5G gibi yüksek frekanslı sistemlerde, sinyalin etkin bir şekilde yönlendirilmesi ve parazitlerin azaltılması için büyük öneme sahiptir.

Bu dört temel analiz yöntemi, anten tasarımında kritik rol oynar ve her biri, anten performansını değerlendirmek ve optimize etmek için kullanılan önemli araçlardır. Geri dönüş kaybı, S11 kaybı, radyasyon deseni ve hüzme genişliği analizleri, özellikle 5G gibi yüksek frekanslı haberleşme sistemlerinde, sinyal kalitesinin artırılması ve verimliliğin sağlanması açısından vazgeçilmezdir.(Stutzman vd., 2012)

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma, 5G haberleşme sistemlerinde yaygın şekilde kullanılan mikroşerit yama anten tasarım aracının geliştirilmesine odaklanmıştır. Anten tasarımı bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve simülasyon yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. MATLAB, mühendislik uygulamaları için yaygın olarak kullanılan bir yazılım platformu olarak seçilmiş ve bu platformda anten tasarımı için özel bir arayüz tasarlanmıştır. Tasarlanan arayüz, kullanıcıların anten tasarım parametrelerini belirlemelerine ve anten tasarımlarının performansını analiz etmelerine olanak tanımaktadır. Bu çalışma üç aşamada gerçekleştirilmiştir:

4.1. Temel Anten Parametrelerinin Hesaplanması

İlk aşama, anten tasarım parametrelerinin ve hesaplamalarının MATLAB programı için fonksiyonlar haline getirilmesini içermektedir. Bu kapsamda, anten tasarım parametrelerini hesaplamak için aşağıdaki formüller kullanılmıştır:

Giriş empedansı;

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} \quad (4.1)$$

olarak verilmiş olup, R_{in} ve X_{in} sırasıyla giriş rezistif direncini ve reaktansını belirtmektedir (Rathod, 2010).

Yansıma katsayısı;

$$r = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \quad (4.2)$$

olarak verilmiş olup, Z_{in} giriş empedansı ve Z_0 çıkış empedansını belirtmektedir (Kaka vd., 2016).

Geri dönüş kaybı (Şencan, 2012);

$$R_L = -20 \log|r| \quad (4.3)$$

Gerilim duran dalga oranı (İbrahimli, 2017);

$$VSWR = \frac{|V_{max}|}{|V_{min}|} = \frac{1+|r|}{1-|r|} \quad (4.4)$$

Anten genişliği (Paul vd, 2015);

$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{\epsilon_R + 1}{2}}} \quad (4.5)$$

olarak verilmiştir. Burada f_0 anten tasarım frekansını, c ışık hızını ve ϵ_R dielektrik katsayısını belirtmektedir (Paul vd., 2015).

Antenin etkin uzunluğu

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{\epsilon_R + 1}{2} + \frac{\epsilon_R - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \left(\frac{h}{W} \right)}} \right] \quad (4.6)$$

olarak verilmiş olup, h dielektrik malzemenin kalınlığını, W anten genişliğini temsil etmektedir (Paul vd., 2015).

$$L = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} - 0.824h \left(\frac{(\epsilon_{\text{eff}} + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{\text{eff}} - 0,258) \left(\frac{W}{h} + 0,8 \right)} \right) \quad (4.7)$$

İletim hattının karakteristik empedansı ise şu şekilde hesaplanmıştır (Paul vd, 2015).

$\frac{W}{h} < 1$ için

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{\epsilon_R + 1}{2} + \frac{\epsilon_R - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \left(\frac{h}{W} \right)}} + 0,04 \left(1 - \left(\frac{W}{h} \right) \right)^2 \right] \quad (4.8)$$

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} \ln \left(8 \left(\frac{h}{W} \right) + 0,25 \left(\frac{h}{W} \right) \right) \quad (4.9)$$

$\frac{W}{h} > 1$ için;

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{\epsilon_R + 1}{2} + \left[\frac{\epsilon_R - 1}{2 \sqrt{1 + 12 \left(\frac{h}{W} \right)}} \right] \quad (4.10)$$

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{e_{\text{eff}} \left[\frac{W}{h} + 1,393 + \left(\frac{2}{3} \right) \ln \left(\frac{W}{h} + 1,444 \right) \right]}} \quad (4.11)$$

4.2. Yüksek Frekans Verilerinin Entegrasyonu

İkinci aşama, temel anten parametrelerinin hesaplanması için kullanılan formüllerin ve anten analizi için kullanılan analiz yöntemlerinin alt programlar haline getirilerek bir araç kutusu oluşturulmasını içermektedir. Matlab GUI programında

tasarlanacak arayüz için uygun program taglarının uygun alt programlarla eşleştirilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir.

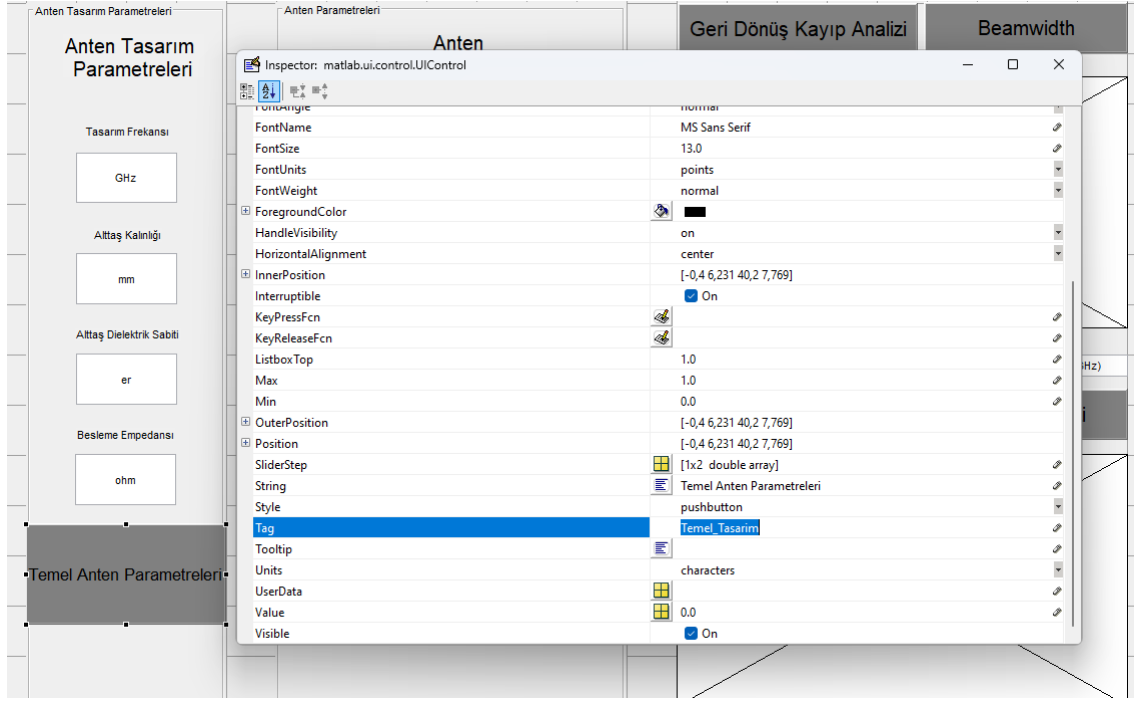
Tasarım sürecinde kullanılan yöntemin tam olarak anlaşılabilmesi için Matlab GUI programı kullanılarak tasarlanan arayüzün bir bölümünün tasarımı aşağıda gösterilerek örneklendirilmiştir.

İlk aşamada gösterilen temel anten parametrelerinin tespiti için kullanılan formül grupları alt programlar haline getirilmiştir. Oluşturulan alt programların listesi Tablo 4.1’de verilmiştir. Ayrıca oluşturulan alt programların kodları Ek-1’de yer almaktadır.

Tablo 4.1. Alt programlar listesi

Alt Programların Fonksiyon Adları	Alt Program Görevleri
Emp_Buyuk.m	Anten Empedans Tespiti
Emp_Kucuk.m	Anten Empedans Tespiti
Epsilon_eff_Tespit.m	Epsilon Efektif Değerinin Tespiti
GDDO_Tespit.m	Gerilim Duran Dalga Oranı Tespiti
Geri_Donus_Kaybi.m	Geri Dönüş Kaybı Tespiti
Length_Tespit.m	Anten Uzunluk Tespiti
Width_Tespit.m	Anten Genişlik Tespiti
Ls_Ws_Tespit.m	Alttaş Uzunluk ve Genişlik Tespiti
Yansima_Katsayisi.m	Yansıma Katsayısının Tespiti

Hazırlanan alt programların tasarlanan arayüz üzerinde doğru zaman ve doğru konumlarda gösterilebilmesi için etiketleme işleminin yapılması gerekmektedir. Bu etiketleme işlemi Matlab GUI programı üzerinde arayüz tasarımı aşamasında gerçekleştirilmektedir. Etiketleme işlemi şekil 4.1’de gösterilmiştir.

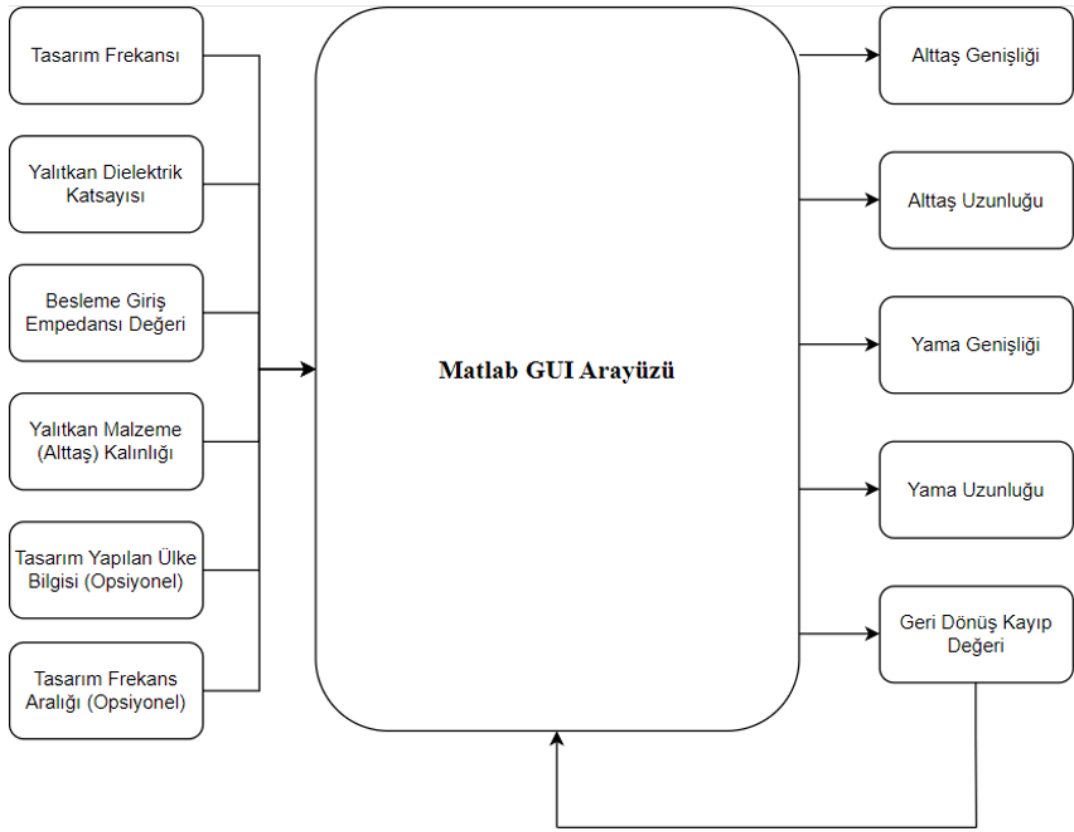


Şekil 4.1. Değişken etiketleme işlemi

Gerçekleştirilen etiketleme işleminin doğru çalışabilmesi için arayüzün görsel programlama aşamasında doğru değer için doğru alt programın çağırılması ve alt programlar aracılığı ile çağırılan verilerin görselleştirilmesi gerekmektedir. Bu işlemin gerçekleştirilme işlemi için “sim5g.m” programı tasarlanmıştır. Program kodlarının tam hali Ek-2 bölümünde mevcuttur.

4.3. Matlab GUI Arayüz Tasarımı ve Sonuçların Görselleştirilmesi

Üçüncü aşama, MATLAB GUI üzerinde tasarlanan arayüzün giriş ve çıkış verilerini oluşturulan blok diyagrama uygun olarak hazırlamayı içermektedir. Anten tasarım parametreleri, anten görselleri, kayıp verileri ve kayıp görselleri bu arayüz üzerinde Şekil 4.2’deki blok diyagramda verildiği üzere görselleştirilmiştir.



Şekil 4.2. Tasarlanan arayüzün blok diyagramı

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, 5G haberleşme sistemleri için MATLAB programı kullanılarak geliştirilen araç kutusunun detaylı kullanım özellikleri ve sunduğu işlevsel yapı ayrıntılı olarak ele alınacaktır. Tasarlanan bu araç kutusu, mühendislerin ve araştırmacıların 5G anten tasarımı süreçlerini daha verimli, hızlı ve hatasız bir şekilde gerçekleştirmelerine yardımcı olmak amacıyla geliştirilmiştir. Özellikle 5G gibi karmaşık ve yüksek frekanslı haberleşme sistemlerinde, doğru anten parametrelerinin belirlenmesi ve analiz edilmesi oldukça önemlidir. MATLAB GUI altyapısı ile hazırlanan bu araç kutusu, kullanıcı dostu arayüzü sayesinde anten tasarımındaki zorlu süreçleri kolaylaştırarak, mühendislerin ve araştırmacıların 5G anten tasarımıyla ilgili çalışmalarını hızlandırmayı hedeflemektedir.

Araç kutusunun geliştirilme amacı, anten tasarım sürecinde ortaya çıkan manuel hesaplama ve analiz işlemlerini otomatik hale getirerek, kullanıcıların zaman kaybını önlemek ve hata riskini minimize etmektir. MATLAB programı üzerinde geliştirilen bu araç, anten tasarımı ile ilgili temel parametrelerin belirlenmesi, kayıp analizlerinin yapılması ve sonuçların optimize edilmesi gibi süreçlerde etkin bir rol oynar. Kullanıcıların hızlı ve doğru sonuçlar alabilmeleri için gerekli tüm parametreler arayüzde düzenlenmiştir.

Bu bölümde, araç kutusunun arayüzüne dair genel bir tanıtım yapılacaktır ve her bir bileşenin nasıl kullanıldığı detaylı bir şekilde anlatılacaktır. İlk olarak, araç kutusunun ana bileşenleri ve bu bileşenlerin anten tasarımı sürecindeki rolleri açıklanacaktır. Kullanıcılar, arayüz üzerinden hangi adımlarla anten parametrelerini belirleyebileceklerini, bu parametreler üzerinde nasıl düzenlemeler yapabileceklerini ve sonuçların nasıl optimize edileceğini öğrenebileceklerdir. Her bir bileşen, anten tasarımının farklı aşamalarında kullanıcıya rehberlik edecek şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca, araç kutusunun sunduğu otomatik hesaplama ve analiz fonksiyonları sayesinde kullanıcıların manuel hesaplamalarla zaman kaybetmesi önlenecektir.

Bir diğer önemli nokta, araç kutusunun sağladığı analiz ve sonuç sunum özellikleridir. Bu araç, anten tasarımı ile ilgili kayıp analizlerini gerçekleştirerek, kullanıcıya en uygun tasarım parametrelerini belirleme konusunda yardımcı olur. Kayıp analizleri, sinyalin iletim sürecindeki kayıpların minimize edilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Araç kutusu, bu analizlerin sonuçlarını kullanıcıya görsel formatta sunarak, tasarımın hangi yönlerinin iyileştirilmesi gerektiğine dair geri bildirim sağlar.

Bu bölümde ayrıca, literatürde yer alan benzer simülasyon araçları ve metodolojilerle araç kutusunun sunduğu performans ve işlevsellik karşılaştırılacaktır. Literatürde 5G anten tasarımı ve simülasyon süreçlerinde kullanılan çeşitli araçlar mevcut olsa da, bu araçlar genellikle manuel hesaplamalar ve kullanıcı müdahalesi gerektiren süreçlere dayanır. Oysa geliştirilen bu araç kutusu, manuel müdahale gereksinimini en aza indirerek, daha hızlı ve daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlar. Literatürdeki verilerle yapılan karşılaştırmalar, araç kutusunun doğruluk, verimlilik ve kullanım kolaylığı açısından üstünlüklerini gösterecektir.

Sonuç olarak, bu bölümde araç kutusunun kullanıcı arayüzü, sunduğu fonksiyonlar, anten tasarım süreçlerindeki avantajları ve literatürle yapılan karşılaştırmalar detaylı bir şekilde ele alınacaktır. Bu sayede, araç kutusunun anten tasarımı süreçlerinde nasıl bir katkı sunduğu ve literatürdeki mevcut yaklaşımlara göre nasıl bir fark yarattığı açık bir biçimde ortaya konacaktır.

Geliştirilen arayüz sayesinde, temel anten tasarım parametreleri Matlab arayüzüne tasarım frekansı, alttaş dielektrik sabiti, alttaş kalınlığı ve giriş empedans değeri bilgileri girilerek kolayca bulunabilir hale gelmiştir. Matlab GUI kullanılarak geliştirilen araç kutusu ile anten görseli, geri dönüş kaybı analizi, S11 kayıp analizi, radyasyon örüntüsü analizi ve huzme genişliği analizi gerçekleştirilebilmektedir. Geliştirilen arayüzün ana ekranı Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Arayüz görünümü

5.1. Program Arayüz Tasarımı

Geliştirilen Matlab arayüzünün temel anten tasarım parametrelerinin ve anten analiz bulguları gösterimi için Tablo 5.1’de verilen örnek tasarım parametreleri kullanılmıştır.

Tablo 5.1. Örnek anten tasarım parametreleri

Yalıtkan Malzeme Çeşidi	Arlon AD 300C
Yalıtkan Malzeme Dielektrik Sabiti (ϵ_r)	2.98
Yalıtkan Malzeme (Altaş) kalınlığı (mm)	1.2
Çalışma Frekansı (GHz)	5.65

5.1.1. Temel anten parametrelerinin hesaplanması

Şekil 5.2’de görüldüğü üzere, tasarlanan arayüze Tablo 5.1’de verilen örnek anten tasarım parametreleri girilerek temel anten parametreleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.2’de sunulmuştur.

The image shows two side-by-side panels from a software interface. The left panel, titled 'Anten Tasarım Parametreleri', contains input fields for: 'Tasarım Frekansı' (5.65), 'Altaş Kalınlığı' (1.2), 'Altaş Dielektrik Sabiti' (2.98), and 'Besleme Empedansı' (50). The right panel, titled 'Anten Parametreleri', displays calculated output values for: 'Yama Genişliği (W)' (18.8199), 'Yama Uzunluğu (L)' (14.8807), 'Altaş Genişliği (Ws)' (26.0199), 'Altaş Uzunluğu (Ls)' (22.0807), 'Anten Emp (Zo)' (6.38651), 'Yansıma Katsayısı (r)' (0.773474), 'Geri Dönüş Kaybı (RL)' (2.23109), and 'GDDO' (7.829). Both panels have a dark grey button at the bottom labeled 'Temel Anten Parametreleri' and 'Anten Tasarım Görseli' respectively.

Şekil 5.2. Temel anten tasarım parametreleri sonuçları

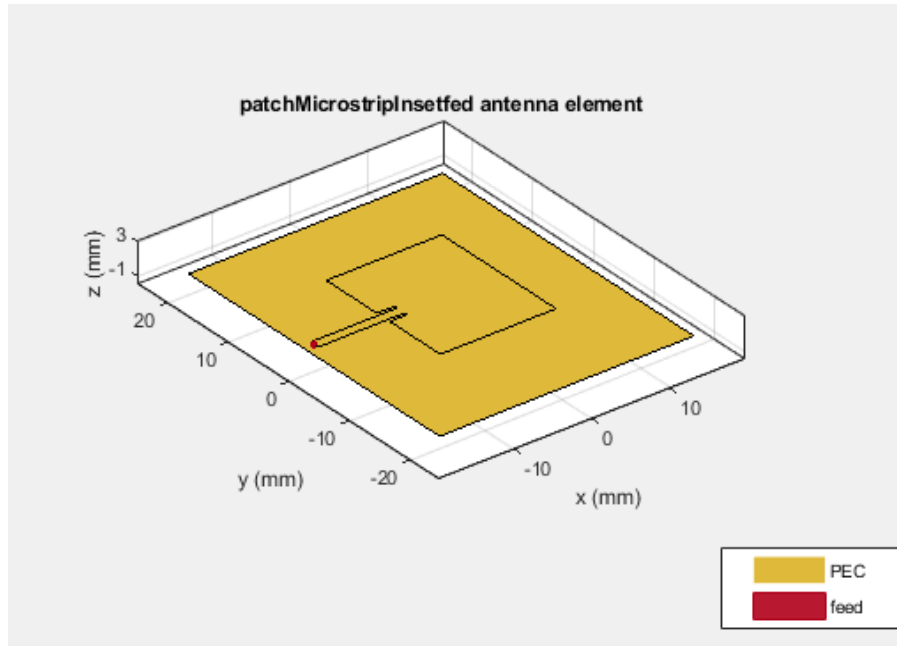
Tablo 5.2. Örnek temel anten parametreleri çıktıları

Temel Anten Parametreleri	
Yama Genişliği	18.81 mm
Yama Uzunluğu	14.88 mm
Alttaş Genişliği	26.01 mm
Alttaş Uzunluğu	22.08 mm
Geri Dönüş Kaybı	2.23 dB
Anten Empedansı	6.38 ohm
Yansıma Katsayısı	0.77
GDDO	7.82

Geliştirilen Matlab GUI sayesinde anten tasarımınn en önemli aşaması olan anten analizlerinin gerçekleştirildiği bir alan tasarlanmıştır. Bu alan içerisinde geri dönüş kayıp analizi, S11 kayıp analizi radyasyon örüntüsü analizi ve hüzme genişliği analizi yapılabilmektedir.

5.1.2. Anten görselinin tasarlanması

Elde edilen bulgular doğrultusunda tasarlanan anten görseli Şekil 5.3.'de verilmiştir.

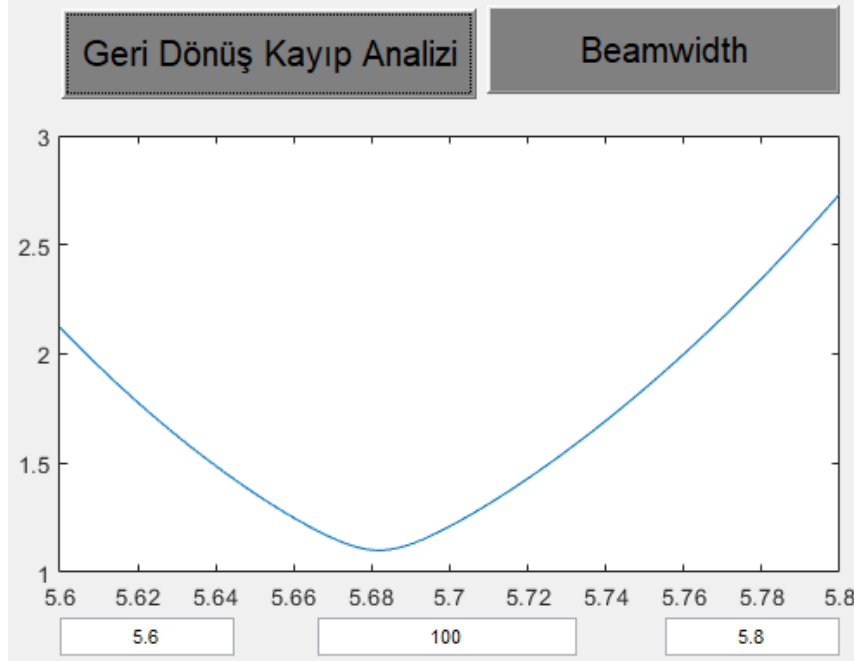


Şekil 5.3. Örnek olarak tasarlanan anten görseli

5.2. Anten Tasarım Analizleri

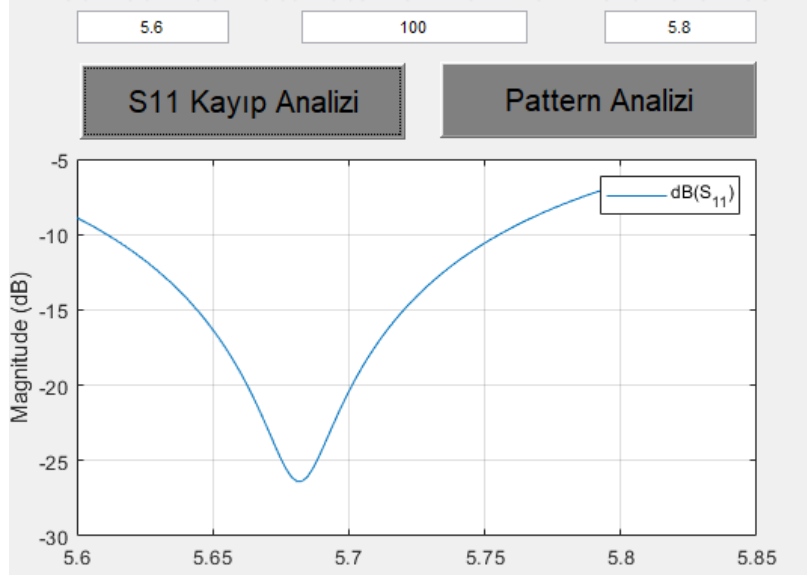
Şekil 5.4'de geri dönüş kaybı analizi, Şekil 5.5'de S11 kaybı analizi, Şekil 5.6'da radyasyon örüntüsü analizi ve Şekil 5.7'de hüzme genişliği analizleri gerçekleştirilmiş ve bu analizler grafiksel olarak sunulmuştur. Tasarlanan arayüz, analizlerin sınırlarının, arayüzü kullanacak olan araştırmacılar tarafından istenildiği gibi değiştirilmesine olanak tanıyacak şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede, farklı frekans değerlerinde analiz yapabilme imkânı sağlanmıştır. Ayrıca, farklı örnekleme sayıları üzerinden analiz gerçekleştirilerek, analizlerin daha kapsamlı hale getirilmesi amaçlanmıştır. Ancak, örnekleme sayısının artması, analiz süresini uzatabileceği gibi bir dezavantajı da beraberinde getirmektedir. Geri dönüş kaybı analizi, 5.6 GHz ile 5.8 GHz aralığında 100 örnekleme üzerinden Şekil 5.4'de; S11 kaybı analizi ise aynı aralıkta ve örnekleme sayısıyla Şekil 5.5'de gösterilmiştir.

Şekil 5.4 'de geri dönüş kayıp analizi 5.6 GHz ile 5.8 GHz aralığında frekans değerleri arasında 100 örnekleme alınarak gerçekleştirilmiştir. 5.65 GHz için gerçekleştirilen tasarımın en verimli çalışma frekansının 5.68 GHz olduğu görülmüştür.



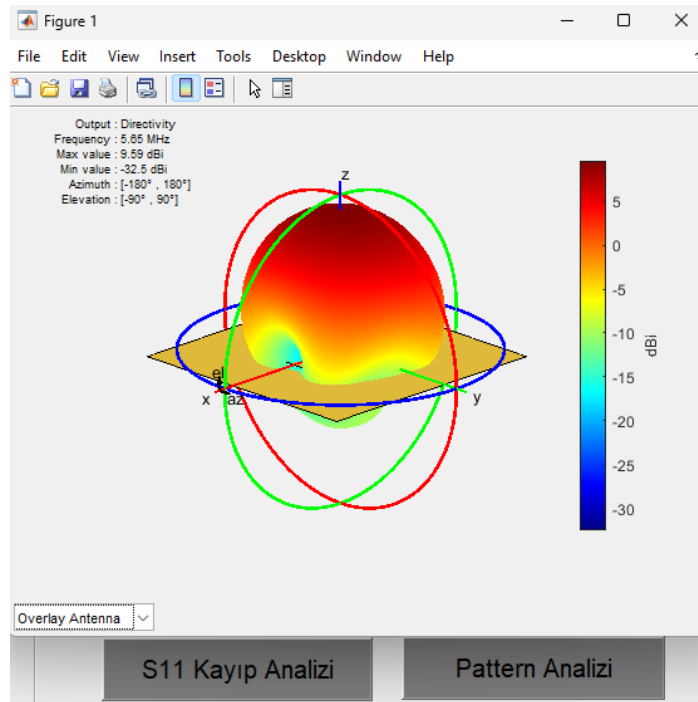
Şekil 5.4. Geri dönüş kayıp analizi

S11 kaybı analizi ise aynı aralıkta ve örnekleme sayısıyla Şekil 5.5'de gösterilmiştir. 5.65 GHz için gerçekleştirilen tasarımın en verimli çalışma frekansının 5.68 GHz olduğu görülmüştür.



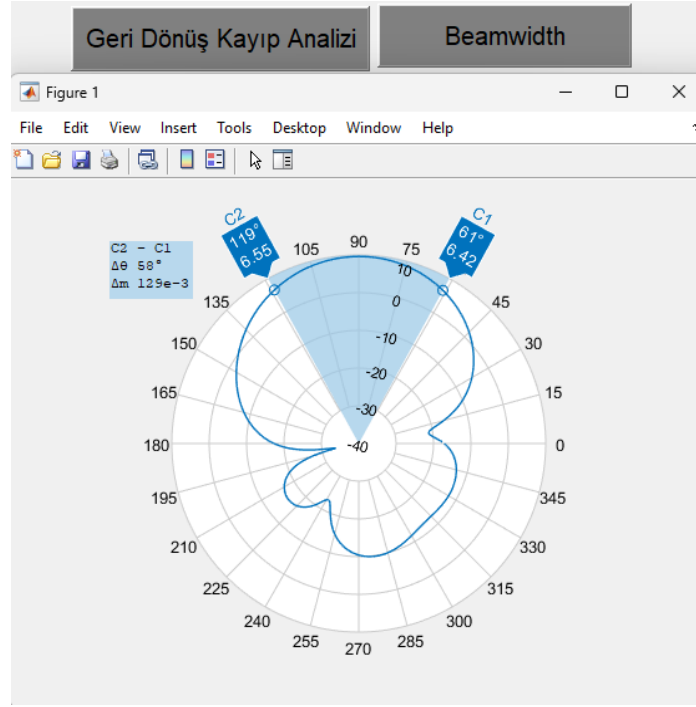
Şekil 5.5. S11 kayıp analizi

Radyasyon örüntüsü analizi, azimut açısı $[-180^0, 180^0]$ ve elevasyon açısı $[-90^0, 90^0]$ aralığında alınarak Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Radyasyon örüntüsü analizi

Hüzme genişliği analizi, azimut açısı 0^0 ve elevasyon açısı $[0^0, 360^0]$ aralığında olmak üzere Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.7. Hüzme genişliği analizi

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Geliştirilen MATLAB tabanlı araç kutusu, 5G haberleşme sistemleri için anten tasarım süreçlerini büyük ölçüde kolaylaştırarak önemli bir katkı sağlamıştır. Bu çalışmada sunulan araç, antenin temel parametrelerinin doğru ve hızlı bir şekilde hesaplanmasına imkan tanımış ve mühendislerin tasarım süreçlerini daha verimli bir şekilde yönetmelerini sağlamıştır. MATLAB'ın grafiksel kullanıcı arayüzü (GUI) aracılığıyla, anten tasarımında ihtiyaç duyulan genişlik, uzunluk, giriş empedansı gibi kritik parametrelerin hesaplanması hem hızlandırılmış hem de doğruluk oranı artırılmıştır. Ayrıca, araç kutusu ile yapılan geri dönüş kaybı (return loss), S11 kaybı, radyasyon örüntüsü ve hüzme genişliği analizleri, anten tasarımı sürecinde büyük önem taşıyan performans verilerini kullanıcılara sağlamıştır.

Yapılan analizler, antenin farklı frekans ve açılardaki performansını detaylı olarak değerlendirmiş ve tasarım sürecinin her aşamasında önemli geri bildirimler sunmuştur. Geri dönüş kaybı ve S11 kayıp analizleri, antenin verimliliğini ve sinyal iletim başarısını değerlendirirken, radyasyon örüntüsü ve hüzme genişliği analizleri, sinyal yayılımının yönlülüğü ve gücünü optimize etme konusunda kritik veriler sunmuştur. Bu analizler sayesinde, anten tasarımındaki potansiyel sorunlar ve performans eksiklikleri önceden tespit edilip gerekli iyileştirmeler yapılabilmektedir.

Çalışma sonucunda geliştirilen bu MATLAB tabanlı araç kutusu, 5G anten tasarımında önemli bir araç olarak ortaya çıkmıştır. Araç, mühendisler ve araştırmacılar için yalnızca tasarım sürecini hızlandırmakla kalmamış, aynı zamanda yüksek doğruluk oranı ve güvenilir sonuçlar sunarak, daha verimli bir tasarım sürecine imkan tanımıştır. Özellikle 5G teknolojisinin sunduğu yüksek frekanslar ve geniş bant genişliği gibi teknik gereksinimlerin karşılanması açısından bu araç kutusu, kritik bir rol oynamaktadır. Bunun yanı sıra, tasarım sürecinde kullanılan bu arayüz, araştırmacılara farklı senaryoları test etme, anten performansını optimize etme ve 5G teknolojisinin potansiyelini en üst düzeye çıkarma fırsatı sunmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma kapsamında geliştirilen araç kutusu, 5G haberleşme sistemlerine yönelik anten tasarımı süreçlerinde yenilikçi ve etkili bir çözüm olarak değerlendirilebilir. araç kutusunun sunduğu kolay kullanım, esneklik ve detaylı analizler, anten tasarımıyla ilgilenen araştırmacıların ve mühendislerin ihtiyaçlarına yönelik etkili bir araç olarak öne çıkmıştır. Bu çalışmanın, gelecekteki 5G teknolojilerine dayalı

projelerde anten tasarımı sürecini daha verimli, erişilebilir ve optimize edilebilir hale getireceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Agarwal, A., Agarwal, S., (2016). Simulation and analysis of 5G mobile phones antenna. *Technology*, 7 (5): 07-12.
- Ahmad, I., Houjun, S., Ali, Q., & Samad, A. (2020, January). Design of Umbrella shape single element patch antenna with high gain and high efficiency for 5G wireless communication in 28 GHz. In 2020 17th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology (IBCAST) (pp. 710-713). IEEE.
- Ahmad, I., Sun, H., Zhang, Y., & Samad, A. (2020). High Gain Rectangular Slot Microstrip Patch Antenna for 5G mm-Wave Wireless Communication. In 2020 5th International Conference on Computer and Communication Systems (ICCCS) (pp. 723-727). IEEE.
- Andrews, J. G., Buzzi, S., Choi, W., Hanly, S. V., Lozano, A., Soong, A. C. K., & Zhang, J. C. (2014). What will 5G be? *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 32(6), 1065-1082.
- Balanis, C. A. (2016). *Antenna Theory: Analysis and Design*. John Wiley & Sons.
- Bamy, C. L., Mbango, F. M., Konditi, D. B. O., & Mpele, P. M. (2021). A compact dual-band Dolly-shaped antenna with parasitic elements for automotive radar and 5G applications. *Heliyon*, 7(4)
- Boccardi, F., Heath, R. W., Lozano, A., Marzetta, T. L., & Popovski, P. (2014). Five disruptive technology directions for 5G. *IEEE Communications Magazine*, 52(2), 74-80.
- Chauhan, B., Vijay, S., Gupta, S. C., (2014). Millimeter-wave mobile communications microstrip antenna for 5G-A future antenna. *International Journal Of Computer Applications*, 99 (19): 15-18.
- Cox, C. (2012). *An Introduction to LTE: LTE, LTE-Advanced, SAE, VoLTE and 4G Mobile Communications*. John Wiley & Sons.
- Cüneray, K., Akçam, N. U. R. S. E. L., & Tayf n, O. K. A. N. (2020, October). Performance Enhancement of Crescent Patch Antenna with Rectangular Slots and Inset Fed for 5G Applications. In 2020 2nd Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM) (pp. 318-321). IEEE.
- Dahlman, E., Parkvall, S., & Skold, J. (2010). *3G Evolution: HSPA and LTE for Mobile Broadband*. Academic Press.
- Fante, K. A., & Gameda, M. T. (2020). Broadband microstrip patch antenna at 28 GHz for 5G wireless applications. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 11(3), 2238-2244.

- Gökdemir, S. (2020). Pazarlama 4.0 ve Deneyim Kavramı Odağında Kavramsal Bir Çalışma (Vol. 3). Vol. 3. Sosyal,Beşeri ve İdari Bilimler Dergisi
- Güler, C . (2022) 5G sistemleri için çoklu giriş-çoklu çıkış anten tasarımı, Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Holma, H., & Toskala, A. (2011). LTE for UMTS: Evolution to LTE-Advanced. John Wiley & Sons.
- İbrahimli, İ., 2017. Mobil Haberleşmedeki Mikroşerit Anten Tasarımı (Yüksek lisans tezi). İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Jilani, S. F., & Alomainy, A. (2016). Millimetre-wave T-shaped antenna with defected ground structures for 5G wireless networks. In 2016 Loughborough Antennas & Propagation Conference (LAPC) (pp. 1-3). IEEE.
- Kaka, A. O., Toycan, M., 2016. Dual band implant antenna design with miniaturized and biocompatible characteristics for wireless health monitoring. In 2016 24th Signal Processing And Communication Application Conference (SIU), IEEE. Zonguldak. 1725-1728.
- Kösem, M. (2021) 5G haberleşme için geniş bant mikroşerit yama anten modellenmesi, alttaşı seçimi ve gerçekleştirilmesi.Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Kumawat, P., & Joshi, S. (2021). A Novel Dual-Band Orthogonal Polarized Elliptical Patch Antenna Array for 5G Applications. Journal of Scientific Research, 65(3).
- Mak, K. M., Lai, H. W., Luk, K. M., Chan, C. H., (2014). Circularly polarized patch antenna for future 5G mobile phones. IEEE Access, 2, 1521-1529.
- Mohan, G. P., Chougale, S. R., (2016). CPW feed microstrip patch antenna design for future 5g communication. International Journal For Technological Research In Engineering, 4 (1): 49-51.
- Paul, L. C., Hosain, M. S., Sarker, S., Prio, M. H., Morshed, M., Sarkar, A. K., 2015. The effect of changing substrate material and thickness on the performance of inset feed microstrip patch antenna. American Journal Of Networks And Communications, 4 (3): 54-58.
- Przesmycki, R., Bugaj, M., & Nowosielski, L. (2020). Broadband microstrip antenna for 5G wireless systems operating at 28 GHz. Electronics, 10(1).
- Qayyum, A., Khan, A. H., Uddin, S., Ahmad, O., Khan, J. S., & Bashir, S. (2020). A Novel mmWave Defected Ground Structure Based Microstrip Antenna for 5G Cellular Applications. In 2020 First International Conference of Smart Systems and Emerging Technologies (SMARTTECH) (pp. 28-31). IEEE.

- Rahman, A., Ng M, Y., Ahmed, A. U., Alam, T., Singh, M. J., & Islam, M. T. (2016). A compact 5G antenna printed on manganese zinc ferrite substrate material. *IEICE Electronics Express*, 13(11), 20160377-20160377.
- Rappaport, T. S. (2015). *Millimeter Wave Wireless Communications*. Pearson.
- Rathod, J. M., 2010. Comparative study of microstrip patch antenna for wireless communication application. *International Journal Of Innovation, Management And Technology*, 1 (2): 194-197.
- Ruchi, R., Upadhyaya, P., & Dutt, S. (2021). 5G antenna at millimeter wave frequency. 2021 3rd International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICAC3N).
- Saeed, A. A., Saeed, O. Y., Gaid, A. S., Aoun, A. M., & Sallam, A. A. (2021). A low Profile Multiband Microstrip Patch Antenna For 5G Mm-Wave Wireless Applications. In 2021 International Conference of Technology, Science and Administration (ICTSA) (pp. 1-5). IEEE.
- Sam, C. M., Mokayef, M., (2016). A wide band slotted microstrip patch antenna for future 5G. *EPH-International Journal Of Science And Engineering*, 2 (7): 19 23.
- Şencan, Z. M., 2012. Dört Rezonanslı Mikroşerit Yama Antenlerin İncelenmesi, Tasarımı Ve Simülasyonu (yüksek lisans tezi). Haliç Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Stutzman, W. L., & Thiele, G. A. (2012). *Antenna Theory and Design*. John Wiley & Sons.
- Summakieh, M. A., Mokayef, M., (2016). Single wideband microstrip patch antenna for 5G wireless communication application. *IJRDO J. Electr. Electron. Eng*, 1 (4): 7-8.
- Türkmen, H.A. (2021) 5G haberleşme sistemleri için geniş bant milimetre dalga mikroşerit antenin tasarlanması ve gerçekleştirilmesi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Türkmen, H.A. (2021) 5G haberleşme sistemleri için geniş bant milimetre dalga mikroşerit antenin tasarlanması ve gerçekleştirilmesi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Yıldıran, Ü., & Başdemir, H. D. (2017). Wideband hexagonal type antenna design for 5G networks. In 2017 10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO) (pp. 959-963). IEEE.
- Zaidi, A., Baghdad, A., Ballouk, A., & Badri, A. (2016, October). Design and optimization of an inset fed circular microstrip patch antenna using DGS structure for applications in the millimeter wave band. In 2016 International Conference on Wireless Networks and Mobile Communications (WINCOM) (pp. 99-103). IEEE.

EKLER

EK-1

```
function Zo = Emp_Buyuk(er,h,w)

eff=((er+1)/2)+((er-1)/(2*(1+12*(h/w))*0.5));
Zo=((120*pi)/(eff*((w/h)+1.393+(2/3)*log((w/h)+1.444))));

end

function Zo = Emp_Kucuk(er,h,w)

eff=((er+1)/2)+((er-1)/2)*((1/(1+12*(h/w))^0.5)+(0.04*(1-(w/h))^0.5));
Zo=(60/((eff)^0.5))*log((8*(h/w))+0.25*(h/w));

end

function eff = epsilon_eff_Tespit(er,w,h)

eff=((er+1)/2)+((er-1)/2)*(1/(1+12*(h/w))^0.5);

end

function GDDO = GDDO_Tespit(r)

GDDO=((1+r)/(1-r));

end

function RL = Geri_Donus_Kaybi(r)

RL=-20*log10(r);

end

function L = Length_Tespit(fo,eff,h,w)

fo=fo*(10^6);
c=3*10^8;

L=(c/(2*fo*(eff^0.5)))-0.824*h*((eff+0.3)*((w/h)+0.264))/((eff-0.258)*((w/h)+0.8));

end
```

```

function [Ls,Ws] = Ls_Ws_Tespit(h,w,L)

Ls=(6*h)+L;
Ws=(6*h)+w;

end

function w = Width_Tespit(fo,er)

fo=fo*(10^6);
c=3*10^8;

w=(c/((2*fo)*((er+1)/2)^0.5));
end

function r = Yansima_Katsayisi(Zin,Zo)

r=((Zin-Zo)/(Zin+Zo));

end

function pm = anten_goruntu(L,w,h)

pm = patchMicrostripInsetfed(Length=L, Width=w, ...
GroundPlaneLength=L*2.2, GroundPlaneWidth=w*2.2, ...
NotchLength=L/6.75, NotchWidth=w/9,StriplineWidth=w/15, ...
Height=h,FeedOffset=[-((2.2*L)/2) 0]);
%show(pm)
end

```

EK-2

```
function varargout = sim5g(varargin)
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @sim5g_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @sim5g_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
function sim5g_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
handles.output = hObject;

guidata(hObject, handles);

function varargout = sim5g_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
varargout{1} = handles.output;

function Temel_Tasarim_Callback(hObject, eventdata, handles)

fo = get(handles.fo_txt, 'String');
h = get(handles.h_txt, 'String');
er = get(handles.er_txt, 'String');
Zin = get(handles.Zin_txt, 'String');

fo = str2double(fo);
h = str2double(h);
er = str2double(er);
Zin = str2double(Zin);

w=Width_Tespit(fo,er);
eff=epsilon_eff_Tespit(er,w,h);
L=Length_Tespit(fo,eff,h,w);
[Ln,Wn]=Ln_Wn_Tespit(h,w,L);
Zo1=Emp_Buyuk(er,h,w);
r=Yansima_Katsayisi(Zin,Zo1);
RL=Geri_Donus_Kaybi(r);
GDDO=GDDO_Tespit(r);

set(handles.w_txt, 'String',w);
set(handles.L_txt, 'String',L);
set(handles.Ln_txt, 'String',Ln);
set(handles.Wn_txt, 'String',Wn);
set(handles.Zo_txt, 'String',Zo1);
set(handles.r_txt, 'String',r);
set(handles.RL_txt, 'String',RL);
set(handles.GDDO_txt, 'String',GDDO);
```

```

function fo_txt_Callback(hObject, eventdata, handles)
function fo_txt_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function h_txt_Callback(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function er_txt_Callback(hObject, eventdata, handles)
function er_txt_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function Zin_txt_Callback(hObject, eventdata, handles)
function Zin_txt_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function S11_txt_Callback(hObject, eventdata, handles)
fo = get(handles.fo_txt,'String');
freq1 = get(handles.freq1_txt,'String');
freq2 = get(handles.freq2_txt,'String');
to = get(handles.to_txt,'String');

fo = str2double(fo);
freq1 = str2double(freq1);
freq2 = str2double(freq2);
to = str2double(to);
axes(handles.axes2);
time1 = s11_analizi(fo,freq1,freq2,to)

```

```

function freq1_txt_Callback(hObject, eventdata, handles)
function freq1_txt_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function freq2_txt_Callback(hObject, eventdata, handles)
function freq2_txt_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function w_txt_Callback(hObject, eventdata, handles)
function w_txt_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function L_txt_Callback(hObject, eventdata, handles)
function L_txt_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function Ws_txt_Callback(hObject, eventdata, handles)
function Ws_txt_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function Ls_txt_Callback(hObject, eventdata, handles)
function Ls_txt_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function Zo_txt_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

function Zo_txt_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function r_txt_Callback(hObject, eventdata, handles)
function r_txt_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function RL_txt_Callback(hObject, eventdata, handles)
function RL_txt_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function GDDO_txt_Callback(hObject, eventdata, handles)
function GDDO_txt_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in pm_txt.
function pm_txt_Callback(hObject, eventdata, handles)

L = get(handles.L_txt,'String');
w = get(handles.w_txt,'String');
h = get(handles.h_txt,'String');

L = str2double(L);
w = str2double(w);
h = str2double(h);
pm = anten_goruntu(L,w,h);
figure
show(pm)

function to_txt_Callback(hObject, eventdata, handles)

function to_txt_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function x_txt_Callback(hObject, eventdata, handles)
fo = get(handles.fo_txt,'String');
freq1 = get(handles.freq1_txt,'String');

```

```
freq2 = get(handles.freq2_txt, 'String');
to = get(handles.to_txt, 'String');

fo = str2double(fo);
freq1 = str2double(freq1);
freq2 = str2double(freq2);
to = str2double(to);
axes(handles.axes1);
time1 = Kayip_Grafigi(fo, freq1, freq2, to)
```

```
function Pattern_txt_Callback(hObject, eventdata, handles)
figure
fo = get(handles.fo_txt, 'String');
fo = str2double(fo);
x = Pattern_Analizi(fo)
```

```
function beamwidth_txt_Callback(hObject, eventdata, handles)
figure
fo = get(handles.fo_txt, 'String');
fo = str2double(fo);
x = beamwidth(fo)
```