



**TÜBİTAK 2209-A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA
PROJELERİ DESTEKLEME PROGRAMI**

ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU

2025 Yılı

Güz Dönem Başvurusu

2209-A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEKLEME PROGRAMI

ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU

A. GENEL BİLGİLER

Başvuru Sahibinin Adı Soyadı: Eren Talha YÜKSEL
Araştırma Önerisinin Başlığı: Kampüs Ortamında RF Kapsama Haritalandırması, Spektrum Doluluk Analizi ve RF Enerji Hasadı Potansiyelinin Değerlendirilmesi
Danışmanın Adı Soyadı: Muhammet Emin İNCE
Araştırmacıın Yürüttüleceği Kurum/Kuruluş: Samsun Üniversitesi

ÖZET

Araştırma önerisi özetinin (1) bilimsel nitelik; (2) yöntem; (3) proje yönetimi ve (4) yaygın etki hakkında bilgileri kapsaması beklenir. Bu bölümün en son yazılması önerilir.

Özet

Bu projede, RF Explorer 6G Combo kullanılarak Samsun Üniversitesi kampüsündeki 50 noktada 0.8-6 GHz frekans aralığında RF ölçümleri yapılacaktır.

Çalışma üç ana bileşen etrafında yapılandırılmıştır. İlk aşamada, kapsama alanı ve sinyal dağılımı, toplanan RSSI verileri işlenerek mekansal ısı haritaları ve sinyal-gürültü oranı (SNR) haritaları üretilerek analiz edilecek ve kampüs genelinde sinyal gücü varyasyonunun niceł bir temsilini sunacaktır. İkinci aşamada, spektrum doluluğu, eşik tabanlı algılama yöntemleri ve günün saatı etkinlik profili kullanılarak 0,8-6 GHz frekans aralığı boyunca farklı bantların ve alt bantların doluluk oranlarının yüzde olarak hesaplanmasıyla incelenecaktır. Üçüncü aşamada, RF enerji hasadı potansiyeli, mevcut ortam RF enerji yoğunluğunu tahmin etmek ve düşük güçlü Nesnelerin İnterneti (IoT) cihazlarına güç sağlamak için fizibilitesini değerlendirmek üzere ölçülen güç değerleri watt'a dönüştürülerek değerlendirilecektir. RF enerji hasadı potansiyeli: ölçülen güçler Watt'a çevrilerek ($P_{in}[W]=10^{(P_{dBm}-30)/10}$) μ W düzeyinde hasat edilebilir güç ve günlük enerji (μ Wh/gün) tahminleri raporlanacaktır.

Ölçümler her sahada üç zaman diliminde (sabah, öğlen, akşam) tekrarlanacak ve bant başına 5 dakikalık kayıtlar tutulacaktır. Eşik hassasiyeti (-90 dBm) analiz edilecektir.

Enerji hasadı için iki doğrultucu-verimlilik senaryosu ($\eta=10\%$ ve $\eta=30\%$) değerlendirilecektir.

Proje, zayıf kapsama alanlarını, yüksek/düşük doluluk bölgelerini ve enerji yoğun alanları gösteren niceł haritalar üreticek ve böylece düşük güçlü IoT düğümlerinin ortam RF enerjisi aracılığıyla nerede çalışabileceğini belirleyecektir.

Genel olarak bu çalışma, bir kampüs ortamında kapsama alanı, spektrum kullanımı ve enerji kullanılabilirliği arasında bağlantı kuran 5G öncesi bir karar destek veri kümesi sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: RF kapsamı, spektrum doluluğu, SNR, RF enerji hasadı, 0,8-6 GHz.

1. ARAŞTIRMA ÖNERİSİNİN BİLİMSEL NİTELİĞİ

1.1. Konunun Önemi ve Araştırma Önerisinin Bilimsel Niteliği

Araştırma önerisinde ele alınan konunun kapsamı, sınırları ve önemi ortaya konulur. Araştırma önerisi kapsamında yapılacak çalışmalarla literatürdeki hangi eksikliğin nasıl giderileceği veya hangi soruna nasıl bir çözüm getirileceği ilgili literatüre atıfla açıklanarak araştırma önerisinin bilimsel niteliği ortaya konulur. Araştırma sorusu ve varsa hipotez(ler) tanımlanır.

Projenin konusu, 12. Kalkınma Planı ve 2030 Sanayi ve Teknoloji Stratejisi'nde yer alan kritik teknoloji alanları ile öncelikli Ar-Ge ve yenilik konuları ile ilişkili ise, ilişkilendirilme sebebi ve ilgili alana sağlayacağı yararlar açıklanmalıdır.

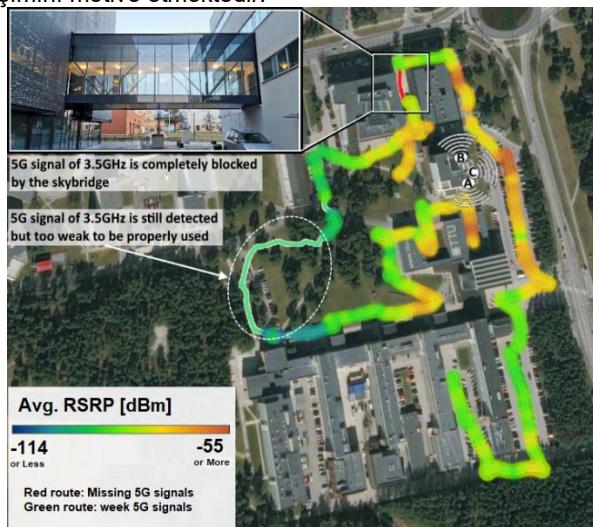
Kablosuz iletişim sistemlerinde, verimli spektrum kullanımı ve RF ortamının doğru modellenmesi, hem 5G öncesi ağ planlamasında hem de enerji verimli IoT uygulamalarında kritik bir rol oynamaktadır. Rappaport [1] ve Goldsmith [2] gibi temel çalışmalar, ağ tasarımını ve optimizasyonunda alan tabanlı sinyal zayıflaması (yol kaybı) ve kapsama alanı ölçümlerinin önemini vurgulamaktadır. Son çalışmalar [3], [4] kampüs veya şehir ölçekte, RSSI tabanlı spektrum haritalamanın özellikle 3-6 GHz bandında 5G öncesi planlama için bir referans görevi görebileceğini göstermiştir.

Mevcut literatürün çoğu ya kapsama alanı ölçümlerine ya da spektrum doluluk analizine odaklanmaktadır. Buna karşılık, RF enerji hasadı (RFEH) üzerine yapılan çalışmalar [5], [6] öncelikle laboratuvar koşulları altında

2209-A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEKLEME PROGRAMI ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU

doğrultucu verimliliği ve anten eşleştirme optimizasyonuna odaklanırken, saha tabanlı ortam enerji yoğunluğu değerlendirmeleri sınırlı kalmıştır.

Ölçülen SS-RSRP sinyaline dayalı 5G kapsama ısı haritasında [7] gösterildiği gibi, alınan sinyal gücünün uzamsal görselleştirilmesi, ölçüm alanı boyunca kapsama gücünün değişimini vurgulamakta ve bu projede benimsenen benzer bir haritalama yaklaşımını motive etmektedir.



Şekil 1. Ölçülen SS-RSRP sinyaline dayalı 5G kapsama ısı haritası [7].

Bu proje, kapsama analizi, spektrum doluluk tahmini ve RF enerji hasadı potansiyelini tek bir ölçüm veri setine entegre eden yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. 0,8-6 GHz aralığında planlanan ölçümler Wi-Fi, LTE ve 6 GHz altı 5G aday bantlarını kapsayacak ve bir kampüs ortamında çok katmanlı bir RF profilinin nicel bir karakterizasyonunu sağlayacaktır. Çalışma aynı zamanda gerçek dünya saha verilerini kullanarak ortam enerjisi kullanımının fizibilite değerlendirmesini de yapacaktır.

Sonuç olarak bu çalışma, bir Türk üniversite kampüsünde RF Explorer tabanlı ilk ortak spektrum haritalama ve enerji hasadı değerlendirmesini sağlamayı ve gelecekteki 5G ve IoT altyapı gelişimi için değerli bilimsel bilgiler sunmayı amaçlamaktadır.

1.2. Amaç ve Hedefler

Araştırma önerisinin amacı ve hedefleri açık, ölçülebilir, gerçekçi ve ulaşılabilir nitelikte olacak şekilde yazılır.

Bu projenin genel amacı, Samsun Üniversitesi kampüsü genelinde 0,8-6 GHz aralığında kapsamlı RF kapsama haritalaması, spektrum doluluk analizi ve ortam RF enerji hasadı potansiyeli değerlendirmesi yapmaktır.

Sonuçlar, 5G öncesi spektrum planlaması, dinamik spektrum erişimi ve sürdürülebilir IoT sensör dağıtımını için nicel bilgiler sağlayacaktır.

1.2.1. Spesifik Hedefler

a) Kapsama Analizi

Sinyal gücü dağılımını değerlendirmek ve farklı frekans bantları için uzamsal kapsama (RSSI) ve SNR ısı haritaları oluşturmak için 50 kampüs konumunda RSSI ölçümleri gerçekleştirilecektir.

b) Spektrum Doluluk Değerlendirmesi

0,8-6 GHz'de dolu frekansların yüzdesini belirlemek için eşik tabanlı algılama (-90 dBm referans) uygulayarak aktif bant kullanımını ölçülecektir. Zamana dayalı doluluk profilleri RF trafiğindeki günlük değişimleri vurgulanacaktır.

c) RF Enerji Hasadı Değerlendirmesi

2209-A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEKLEME PROGRAMI

ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU

Ölçülen gücü watt'a dönüştürülecek ve her ölçüm sahası için hasat edilebilir enerji yoğunluğunu ($\mu\text{W}/\text{m}^2$) hesaplanacaktır. İki doğrultucu verimliliği senaryosu kullanarak ($\eta=10\%$ ve $\eta=30\%$), düşük güçlü IoT düğümleri için mevcut günlük hasat edilebilir enerji ($\mu\text{Wh}/\text{gün}$) tahmini yapılacaktır.

1.2.2. Ölçülebilir Hedefler

- a) 50 nokta için RSSI ve SNR ölçümlerinden oluşan bir veritabanı oluşturulacaktır (günde en az üç zaman dilimi).
- b) 2,4 GHz, 5 GHz ve 6 GHz altı bantlar için spektrum doluluk oranlarını (%) belirlenecektir.
- c) Tüm test noktalarında toplanabilir gücü (μW) ve enerji yoğunluğunu ($\mu\text{W}/\text{m}^2$) tahmini yapılacaktır.
- d) IoT sensörünün çalışması için en uygun bölgeleri belirlemek üzere kapsama alanı, doluluk ve enerji verilerini düzenlenecektir.
- e) 5G öncesi spektrum modellemesi ve kampüs düzeyinde RF kaynak optimizasyonu için birleşik bir veri kümesi üretilecektir.

2. YÖNTEM

Araştırmada uygulanacak yöntem ve araştırma tekniklerinin, amaç ve hedeflere ulaşmaya ne düzeyde elverişli olduğu ilgili literatüre atıf yapılarak ortaya konulur.

Yöntem bölümünün; araştırma tasarımlı, bağımlı ve bağımsız değişkenler, istatistiksel yöntemler vb. unsurları içermesi gereklidir. Araştırma önerisinde herhangi bir ön çalışma veya fizibilite yapıldıysa bunların sunulması beklenir. Araştırma önerisinde sunulan yöntemlerin çalışma takvimi ile ilişkilendirilmesi gereklidir.

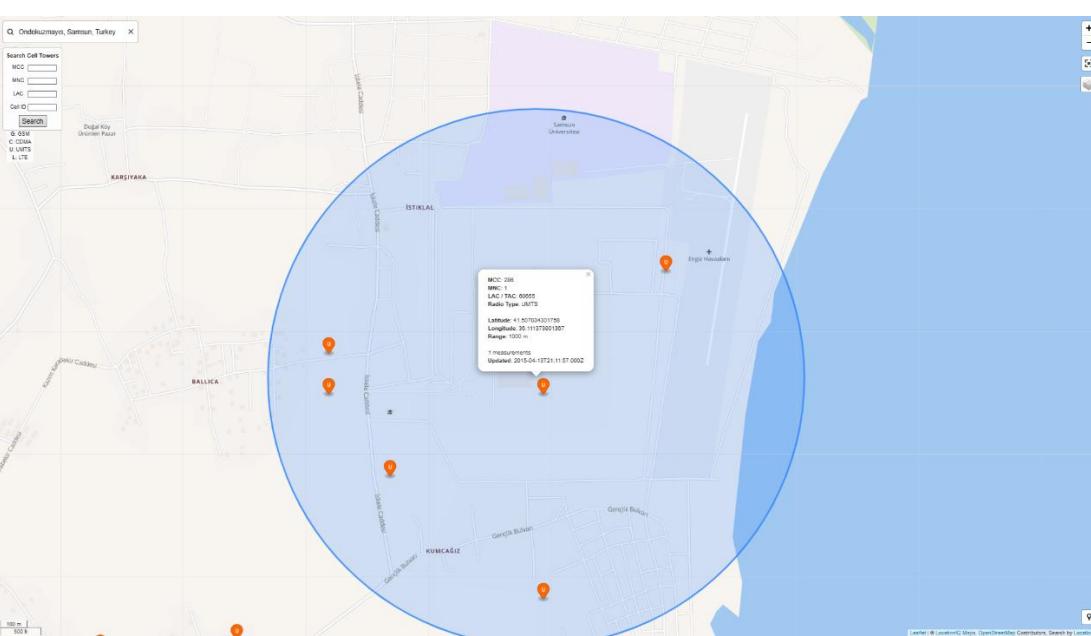
Bu bölümde, 12 aylık proje boyunca kullanılan deneyel tasarım, enstrümantasyon, veri toplama prosedürleri ve analiz hattı özetlenmektedir.

2.1. Ölçüm Ortamı ve Yer Seçimi

Çalışmanın test alanı, açık alanlar, yarı açık alanlar ve akademik ve idari binaların çevresi dahil olmak üzere Samsun Üniversitesi ana kampüsünü kapsamaktadır. Hem Görüş Hattı (LOS) hem de Görüş Hattı Olmayan (NLOS) koşulları temsil edecek şekilde toplam elli sabit ölçüm noktası seçilecek ve çeşitli yayılma ortamları sağlanacaktır. Seçim kriterleri, sinyal davranışındaki temsili varyasyonları yakalamak için mekansal dağılım, bina yoğunluğu, kullanıcı yoğunluğu ve mevcut iletişim antenlerine yönelik görünürlük derecesini dikkate alacaktır. RF ölçüm verilerinin doğru mekansal analizini ve haritalanmasını desteklemek için her ölçüm sahası hassas GPS koordinatları ve alanın açık veya kapalı olması ve fiziksel engeller içerip içermediği gibi ayrıntılı çevresel özelliklerle kaydedilecektir.

2209-A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEKLEME PROGRAMI

ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU



Şekil 2. OpenCellID veritabanından alınan baz istasyonu konumları ve kapsama alanı haritası (Samsun Üniversitesi kampüsü ve çevresi).

Bu harita, Samsun Üniversitesi ana kampüsü çevresindeki hücresel baz istasyonlarının (GSM/UMTS/LTE) konumlarını ve yaklaşık 1 km yarıçapındaki kapsama alanlarını göstermektedir. Görsel, ölçüm noktalarının seçimi sırasında hücrelerin konum, kapsama ve görüş hattı (LOS/NLOS) dağılımlarının değerlendirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Böylece saha ölçüm planı, kampüs çevresindeki sinyal yoğunluğu ve anten görünürlüğü dikkate alınarak belirlenmiştir.

2.2. Ekipman ve Ölçüm Parametreleri

Bu çalışmada kullanılan ekipman, birincil ölçüm cihazı olarak hizmet verecek olan bir RF Explorer 6G Combo taşıınabilir spektrum analizöründen oluşmaktadır. Analizör, 6 GHz'e kadar çalışabilen 3 dBi çok yönlü bir antene bağlanacak ve LTE, Wi-Fi ve 6 GHz altı 5G aday bantları dahil olmak üzere birden fazla kablosuz teknolojide sinyal alımına izin verecektir. Ölçümler, sabit sinyal seviyelerinin yanı sıra kısa vadeli tepe dalgalanmalarını yakalamak için hem Ortalama hem de Maksimum Tutma tarama modlarında gerçekleştirilecektir. Ardişik taramalar arasındaki örnekleme aralığı 1-2 saniye olarak ayarlanacak ve istatistiksel olarak anlamlı veri elde edilmesini sağlamak için her bant 2-5 dakika boyunca sürekli olarak izlenecektir. Her ölçüm oturumundan önce, anten $50\ \Omega$ sonlandırıcı ile değiştirilerek bir gürültü tabanı kalibrasyonu gerçekleştirilecek ve sistemin yaklaşık -105 dBm'lik bir referans arka plan gürültü seviyesini kaydetmesi sağlanacaktır. Bu kalibrasyon adımı, farklı zaman dilimlerinde ve konumlarda yapılacak tüm ölçümülerin güvenilirliğini ve karşılaştırılabilirliğini sağlar.

2.3. Ölçüm Prosedürü

Sinyal gücü ve spektrum kullanımındaki zamansal değişimleri yakalamak için her saha günde üç kez (sabah, öğle ve akşam oturumları sırasında) ölçülecektir. Oturumlar arasında karşılaştırılabilir veri toplanmasını sağlamak için tüm hedef frekans bantları tutarlı gözlem pencereleri içinde sırayla taranacaktır. Deneysel tutarlılığı garanti etmek için tüm ölçümlerde aynı anten, kablo ve analizör ayarları korunacaktır. Toplanan veriler CSV formatında saklanacak ve şu alanları içerecektir: zaman damgası, frekans (MHz), güç (dBm), enlem, boylam ve saha kimliği. Buna ek olarak, RF ölçüm sonuçlarının doğru yorumlanması desteklemek için hava koşulları, engellerin varlığı ve vericilere yakınlık gibi ayrıntılı çevresel notlar kaydedilecektir.

2.4. Veri Ön İşleme

Ham CSV günlükleri MATLAB'da işlenecektir. İlk olarak, gürültü tabanının altındaki tüm örnekler, güç seviyeleri < -105 dBm olan girişler filtrelenerek kaldırılacaktır. Daha sonra her bir saha ve frekans bandı için ortalama, medyan ve 90. persentil (p90) RSSI değerleri hesaplanarak merkezi eğilim ve üst kuyruk davranışını yakalanacaktır. Daha sonra, frekans-güç ölçümleri, mekansal analizleri mümkün kılmak için ilgili GPS koordinatlarıyla (enlem-boylam) birleştirilecektir. Son olarak, RSSI ve SNR ısı haritaları, spektrum doluluk grafikleri ve RF enerji hasadı tahminleri dahil olmak üzere görselleştirme ve aşağı akış ölçümleri için temizlenmiş ve yapılandırılmış veri kümeleri

2209-A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEKLEME PROGRAMI

ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU

hazırlanacaktır.

2.5. Kapsama Alanı ve SNR Tahmini

Kapsama alanı ve sinyal-gürültü oranı (SNR) tahmini, işlenmiş RSSI verilerine dayalı olarak gerçekleştirilecektir. Ortalama alınan sinyal gücü (Pavg), her ölçüm noktasındaki tüm bireysel güç örneklerinin aritmetik ortalaması olarak hesaplanacaktır. Bu değer, bir ölçüm oturumu sırasında gözlemlenen tipik sinyal seviyesini temsil eder. Sinyal-gürültü oranı (SNR) daha sonra ortalama arka plan gürültü seviyesinin (Pnoise) ortalama RSSI değerinden çıkarılmasıyla belirlenecektir. Bu hesaplama, göreceli sinyal kalitesinin ve ölçüm alanı boyunca iletişim bağlantılarının güvenilirliğinin bir göstergesini sağlar. Mekânsal olarak sürekli kapsama alanı ve SNR haritaları oluşturmak için QGIS kullanılarak Ters Mesafe Ağırlıklandırma (IDW) veya Kriging gibi enterpolasyon teknikleri uygulanacaktır. Bu jeo-uzamsal yöntemler, güçlü ve zayıf kapsama alanlarını görsel olarak vurgulayan yüksek çözünürlüklü RSSI ve SNR ısı haritalarının oluşturulmasına olanak tanıyararak kablosuz performansının düşmesine neden olabilecek düşük sinyalli bölgelerin belirlenmesini sağlayacaktır.

Ortalama RSSI:

$$Pavg(\text{dBm}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i$$

SNR Hesaplaması:

$$\text{SNR(dB)} = Pavg - Pnoise$$

2.6. Spektrum Doluluk Hesaplaması

Ölçülen spektrum içindeki aktif frekans bileşenlerini tanımlamak için bir algılama eşiği tanımlanacaktır. Özellikle, $P_{th} = -90 \text{ dBm}$ 'lik bir güç eşiği, bir frekans kutusunun aktif veya inaktif olup olmadığını belirlemek için temel kriter olarak kullanılacaktır. Doluluk oranı (%) daha sonra aktif frekansların (N_{aktif}) toplam frekans örneği sayısına (N_{toplam}) oran olarak hesaplanacak ve şu şekilde ifade edilecektir:

$$\text{Occupancy(\%)} = N_{\text{aktif}} / N_{\text{toplam}} \times 100$$

Bu hesaplama, ölçüm süresi boyunca kullanımda olan spektrumun oranını ölçerek spektral tikanıklığın veya kullanılabilirliğin sayısal bir göstergesini sağlar. Sonuçların algılama eşigine duyarlığını değerlendirmek için, doluluk yüzdesi -95 dBm (daha hassas algılama) ve -85 dBm (daha kısıtlayıcı algılama) olmak üzere iki ek eşik için yeniden hesaplanacaktır. Bu karşılaştırmalı yaklaşım, eşik seçiminin doluluk tahminini nasıl etkilediğini değerlendirmeye ve 0,8-6 GHz frekans aralığında tutarlı faaliyet modellerini belirlemeye yardımcı olacaktır.

2.7. RF Enerji Hasadı Potansiyeli

Ölçümlerde elde edilen ortalama alıcı gücü önce Watt cinsine dönüştürülür:

$$Pin(W) = 10^{PdBm - 30} \quad 10^{10} \text{ PdB30}$$

$$Pin(W) = 10^{(PdBm - 30)/10}$$

Doğrultucu (rectifier) verimliliği η dikkate alınarak çıkış gücü hesaplanır. Çalışmada iki senaryo değerlendirilecektir $\eta=10\%$ (muhofazakar) ve $\eta=30\%$ (iyimser):

$$Pout(W) = \eta \times Pin$$

Günlük hasat edilebilir enerji, çıkış gücünün zamana (1 gün = 86 400 s) integrali olarak tahmin edilir:,

$$Eday = Pout \times 86400$$

Sonuçlar raporlamada anlaşılır olması için μW ve $\mu\text{Wh}/\text{gün}$ cinsine dönüştürülecektir. Elde edilen değerler, kampüs genelinde enerji yoğunluğu ısı haritaları ile gösterilecekler RF enerjisinin görece yüksek olduğu bölgeler (düşük güçlü IoT sensörlerinin konuşlandırılması için umut vadeden konumlar) vurgulanacaktır.

2209-A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEKLEME PROGRAMI

ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU

2.8. İstatistiksel ve Korelasyon Analizi

Her bir frekans bandı için ortalama, medyan, standart sapma ve 90. persentil (p90) değerleri, sinyal gücünü değişimlerini istatistiksel olarak tanımlamak ve ölçülen verilerin sağlam karakterizasyonunu sağlamak için hesaplanacaktır. RSSI ve spektrum doluluğu arasındaki korelasyonun yanı sıra RSSI ve enerji hasadı potansiyeli arasındaki korelasyon, alınan güç seviyelerinin spektral aktivite ve mevcut ortam enerjisi ile nasıl ilişkili olduğunu belirlemek için incelenecaktır. Mekansal enterpolasyon yöntemlerinin doğruluğunu teyit etmek için model performansı, her seferinde bir gözleme sistematik olarak kaldırın ve enterpolasyon güvenilirliğini değerlendirmek için tahmin edilen ve ölçülen değerleri karşılaştırılan Leave-One-Out Cross-Validation (LOOCV) kullanılarak doğrulanacaktır.

2.9. Yazılım ve Görselleştirme Araçları

Her bir frekans bandı için ortalama, medyan, standart sapma ve 90. persentil (p90) değerleri, sinyal gücünü değişimlerini istatistiksel olarak tanımlamak ve ölçülen verilerin sağlam karakterizasyonunu sağlamak için hesaplanacaktır. RSSI ve spektrum doluluğu arasındaki korelasyonun yanı sıra RSSI ve enerji hasadı potansiyeli arasındaki korelasyon, alınan güç seviyelerinin spektral aktivite ve mevcut ortam enerjisi ile nasıl ilişkili olduğunu belirlemek için incelenecaktır. Mekansal enterpolasyon yöntemlerinin doğruluğunu teyit etmek için model performansı, her seferinde bir gözleme sistematik olarak kaldırın ve enterpolasyon güvenilirliğini değerlendirmek için tahmin edilen ve ölçülen değerleri karşılaştırılan Leave-One-Out Cross-Validation (LOOCV) kullanılarak doğrulanacaktır.

2.10. Etik, Güvenlik ve Tekrar Üretilebilirlik

Bu çalışmada ölçümler tamamen pasif ve müdahaleci değildir, hiçbir aşamada kişisel veya gizli veri toplanmamasını sağlar. Tüm komut dosyaları, ham CSV günlükleri ve işlenmiş veri kümeleri, sonuçların tekrarlanabilirliğini ve şeffaflığını garanti etmek için açık erişim formatlarında arşivlenecektir. Ayrıca, tüm deneysel kampanya boyunca veri doğruluğu, kararlılığı ve genel güvenilirliği sağlamak için günlük kalibrasyon rutinleri ve tutarlı ölçüm prosedürleri uygulanacaktır.

2209/A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEĞİ PROGRAMI

ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU

3. PROJE YÖNETİMİ

3.1 Çalışma Takvimi

Araştırmada yer alacak başlıca faaliyetler, her bir faaliyetin hangi sürede gerçekleştirileceği, başarı ölçütü ve araştırmmanın başarısına katkısı "Çalışma Takvimi" doldurularak sunulur.

ÇALIŞMA TAKVİMİ (*)

Tarih Aralığı	Faaliyetler**	Kim(ler) Tarafından Gerçekleştirileceği	Başarı Ölçütü ve Araştırmının Başarısına Katkısı***
1 ay	Literatür taraması, cihaz kalibrasyonu, ölçüm noktalarının belirlenmesi, GPS koordinat planı	Eren Talha Yüksel	%5
1 ay	Ölçüm yazılımı (RF Explorer for Windows) konfigürasyonu, veri kaydı testleri, noise floor ölçümleri	Hasan Basri Ayyıldız	%10
2 ay	Kampüsün 50 noktasında 0.8–6 GHz bandında ölçüm (sabah–ögle–akşam)	Hasan Basri Ayyıldız	%15
1 ay	Verilerin ön işlenmesi, filtreleme ve kalibrasyon	Eren Talha Yüksel	%5
2 ay	RSSI ortalamaları ve SNR haritalarının oluşturulması (QGIS/Python)	Eren Talha Yüksel	%15
1 ay	Spektrum doluluk oranlarının hesaplanması ve grafiksel sunumu	Eren Talha Yüksel	%10
2 ay	RF enerji hasadı hesapları ($\mu\text{W}/\text{m}^2$, $\mu\text{Wh}/\text{gün}$), senaryo analizi	Hasan Basri Ayyıldız	%20
1 ay	Bulguların karşılaştırılması, istatistiksel analiz ve sonuçların bütünlendirilmesi	Hasan Basri Ayyıldız	%10
1 ay	Raporlama, danışman geri bildirimi, TÜBİTAK final raporu ve seminer sunumu	Eren Talha Yüksel	%10

(*) Çizelgedeki satırlar ve sütunlar gerektiği kadar genişletilebilir ve çoğaltılabılır.

(**) Literatür taraması, sonuç raporu hazırlama aşamaları, araştırma sonuçlarının paylaşımı, ve malzeme alımı ayrı birer iş adımı olarak gösterilmemelidir.

(***) Başarı ölçütü, ölçülebilir ve izlenebilir nitelikte olacak şekilde nicel veya nitel ölçütlerle (ifade, sayı, yüzde, vb.) belirtilir. Bu sütundaki değerlerin toplamı 100 olmalıdır.

3.2 Risk Yönetimi

2209/A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEĞİ PROGRAMI ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU

Araştırmmanın başarısını olumsuz yönde etkileyebilecek riskler ve bu risklerle karşılaşıldığında araştırmmanın başarıyla yürütülmesini sağlamak için alınacak tedbirler (B Planı) aşağıdaki Risk Yönetimi Tablosu'nda ifade edilir. B Plan(larının) uygulanması araştırmmanın temel hedeflerinden sapmaya yol açmamalıdır. B Plan(larına) geçilmesi durumunda yöntem değişikliğine gidiliyor ise bu durum detaylandırılmalıdır.

RISK YÖNETİMİ TABLOSU*

En Önemli Riskler	Alınacak Tedbirler (B Planı)
Ölçüm günlerinde hava koşullarının olumsuz olması	Alternatif tarih planı ve kapalı alan senaryosu
RF Explorer cihazında kalibrasyon kayması	Her gün noise floor kalibrasyonu ve referans sinyal kontrolü
Anten konum değişimi ve kablo kayıpları	Sabit anten ve kablo düzeni, her ölçüm öncesi dB kayıp testi

(*) Tablodaki satırlar gerektiği kadar genişletilebilir ve çoğaltılabılır.

3.3.Araştırma Olanakları

Bu bölümde projenin yürütüleceği kurum ve kuruluşlarda var olan ve projede kullanılacak olan altyapı/ekipman (laboratuvar, araç, makine-teçhizat, vb.) olanakları belirtilir.

ARAŞTIRMA OLANAKLARI TABLOSU (*)

Kuruluşta Bulunan Altyapı/Ekipman Türü, Modeli (Laboratuvar, Araç, Makine-Teçhizat, vb.)	Projede Kullanım Amacı
RF Explorer 6G Combo (mevcut cihaz, Samsun Üniversitesi laboratuvarı)	RF Ölçüm Donanımı
RF Explorer for Windows, QGIS 3.x, MATLAB	Bilgisayar Yazılımları

(*) Tablodaki satırlar gerektiği kadar genişletilebilir ve çoğaltılabılır.

4. ARAŞTIRMA ÖNERİSİNİN YAYGIN ETKİSİ

Araştırma önerisi kapsamındaki çalışmadan elde edilmesi öngörülen çıktılar amaçlarına göre belirlenen kategorilere ayrılarak belirtilir; ölçülebilir ve gerçekçi hedeflere dayandırılır.

Çıktı, Etki ve Kazanımlar	Öngörülen Çıktı(lar), Etki(ler) ve Kazanım(lar)
Bilimsel/Akademik Çıktılar (Ulusal/Uluslararası Makale, Kitap Bölümü, Kitap, Bildiri vb.)	4.1. Beklenen Bilimsel Sonuçlar RF kapsama haritaları: Kampüs genelinde 0.8–6 GHz aralığındaki sinyal dağılımını gösteren, her bant için ayrı ısı haritaları elde edilecektir. Spektrum doluluk analizi: 2.4 GHz (Wi-Fi), 5 GHz ve 3.3–4.2 GHz (5G-altı) bantlarında zaman bazlı doluluk oranları (%) çıkarılacaktır. Bu sonuçlar, mevcut kablosuz trafığın mekânsal ve zamansal yoğunluğunu gösterecektir. RF enerji hasadı potansiyeli: Her ölçüm noktası için μW düzeyinde enerji yoğunluğu hesaplanacak, günlük $\mu\text{Wh}/\text{gün}$ bazında enerji potansiyeli belirlenecektir. Böylece düşük güçlü IoT sensörleri için RF enerjisinden besleme olasılığı ortaya konacaktır. İstatistiksel model: RSSI, SNR ve doluluk ilişkilerini açıklayan korelasyon tablosu ve regresyon denklemleri raporlanacaktır.

2209/A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEĞİ PROGRAMI ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU

Ekonominik/Ticari/Sosyal Çıktılar (Ürün, Prototip, Patent, Faydalı Model, Tescil, Görsel/İşitsel Arşiv, Envanter/Veri Tabanı, Çalıştay, Eğitim, Bilimsel Etkinlik vb.)	4.2. Ekonomik ve Sosyal Katkı Üniversite kampüslerinde enerji hasadı tabanlı IoT sensörlerinin konumlandırmasına katkı sağlar. RF spektrumunun verimli kullanılmasına yönelik farkındalık artırır ve mühendislik eğitiminde saha temelli ölçüm deneyimi kazandırır. Uzun vadede, düşük güçlü kablosuz sensör sistemlerinin pil değişimi gerektirmeden çalışmasıyla bakım maliyetlerinde düşüş ve sürdürülebilirlik artışı beklenir.
Yeni Proje(ler) Oluşturmasına Yönelik Çıktılar (Ulusal/Uluslararası Yeni Proje vb.)	Bu proje tamamlandığında, Türkiye'de 5G ve IoT entegrasyonu öncesinde kampüs ölçünginde RF çevresel profiline çıkarıldığı ilk örneklerden biri olacaktır. Böylece hem araştırma altyapısına hem de ulusal düzeyde kablosuz sistem planlamasına nicel katkı sağlayan bir çalışma olarak değerlendirilecektir.

5. BELİRTMEK İSTEDİĞİNİZ DİĞER KONULAR

Sadece araştırma önerisinin değerlendirilmesine katkı sağlayabilecek bilgi/veri (grafik, tablo, vb.) eklenebilir.

Bu araştırmada elde edilecek RF kapsama, spektrum doluluk ve enerji hasadı verileri; QGIS ve MATLAB tabanlı görselleştirmelerle desteklenerek okulumuzun ve bizim arşivimizde yer alacak ve benzer saha ölçümleri çalışmalarına yol gösterici olacaktır.

6. EKLER

EK-1: KAYNAKLAR

- [1] T. S. Rappaport, Wireless Communications: Principles and Practice, 2nd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2015.
- [2] A. Goldsmith, Wireless Communications. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 2005.
- [3] T. M. Hoang, H. Tran, Q. Nguyen, "Empirical analysis of sub-6 GHz propagation characteristics for 5G networks in urban campus environments," IEEE Access, vol. 10, pp. 116932–116945, 2022.
- [4] M. Singh, A. Bhattacharya, "Measurement-based spectrum occupancy analysis for cognitive radio networks," Sensors, vol. 21, no. 18, pp. 6012–6027, 2021.
- [5] J. Shin, D. Kim, Y. Jeong, "High-efficiency rectifier design for ambient RF energy harvesting at sub-6 GHz bands," IEEE Trans. Microwave Theory Techn., vol. 68, no. 9, pp. 3821–3833, 2020.
- [6] L. Zeng, F. Zhu, X. Yang, "Assessment of ambient RF energy harvesting for IoT sensors: Field measurements and analysis," Renewable Energy, vol. 202, pp. 450–460, 2023.
- [7] T. N. Nguyen, D. T. Phan, and Q. T. Ngo, "5G network coverage analysis based on field measurements of SS-RSRP and SS-SINR signals in sub-6 GHz bands," IEEE Access, vol. 10, pp. 114932–114945, 2022.