

ARGE PARK BİNASINDA OFİS/LABORATUVAR ALANI TAHSİSİ
GERÇEKLEŞTİRİLEN ARAŞTIRMA GRUPLARI FAALİYET RAPORU
(2025)

Araştırma Grubu	YENİ NESİL Kablosuz Haberleşme Sistemleri Ar-Ge Grubu (Elektrik-Elektronik Mühendisliği)	
Proje Yürütücüsü / Grup Lideri	Prof. Dr. İbrahim DEVELİ	
Sanayi Kuruluşu (İş Birliği varsa)	-	
Proje Türleri / Destek Programı	TÜBİTAK 1001 (122E242)	BAP (FAPD-2025-13944)
Projelerin Başlıkları	5G ve Ötesi Haberleşme Sistemleri için Donanımsal Hata Dayanımı Yüksek RIS Destekli Özgün OFDM-IM Sistemlerin Tasarımı	
	Gelecek Nesil 6G Alanındaki Gelişmelerin Takip Edilmesi ve Mevcut 5G'ye Kıyasla Sağlayacağı Yeteneklerin Araştırılması	
Tahsise Konu Olacak Projelerin Başlangıç ve Bitiş Tarihi	01.10.2022 – 01.04.2025	13.01.2025 – 13.01.2026
Araştırmacılar	Doç. Dr. Ayşe Elif CANBİLEN (Konya Teknik Üniversitesi) Öğr. Gör. Dr. Büşra CENİKLİOĞLU (Uşak Üniversitesi) Hussam ALSALAMEH (Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Öğrencisi) Miraç MUNCUK (Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Öğrencisi)	

Proje Grubu	☒ (x) Fen ve Mühendislik Bilimleri ☐ () Tıp ve Sağlık Bilimleri ☐ () Sosyal Bilimler ☐ () Üniversite-Sanayi İş Birliği
Bu alan, ofis/laboratuvar alanı tahsisi sırasında sunulan bilgilerle doldurulmuştur.	

1. DÖNEM İÇİNDE GERÇEKLEŞTİRİLEN FAALİYETLER VE ELDE EDİLEN BULGULAR/SONUÇLAR

Tahsis kapsamında yürütülen projelerin iş-zaman çizelgesi dikkate alınarak dönem içinde projeler kapsamında gerçekleştirilen faaliyetler ve elde edilen sonuçlar sunulmalıdır.

Tahsis kapsamında yürütülen 122E242 No’lu ve “5G ve Ötesi Haberleşme Sistemleri için Donanımsal Hata Dayanımı Yüksek RIS Destekli Özgün OFDM-IM Sistemlerin Tasarımı” başlıklı 1001 projemiz Nisan 2025 de başarıyla tamamlanmıştır.

5G ötesi haberleşme sistemlerinin yeni gereksinimleri sonucunda yeni sistem tasarımları; verici ve alıcı sistem yapılarında farklılıklar meydana getirmektedir. Oluşturulan bu sistem tasarımları önemli performans parametrelerine sahip olmaktadır. Yapılan mevcut araştırma katkılarının çoğu verici ve alıcının mükemmel donanıma sahip olduğunu varsaymaktadır. Ancak alıcı ve vericideki IQI ile kuantalama gürültüsü gibi donanımsal hataların da neden olduğu SNR değerindeki düşüklük sistem performansını önemli derecede etkilemektedir. Bu nedenle yüksek taşıyıcı frekansında ve büyük bant genişliklerinde haberleşme sistemlerinin performansı değerlendirilirken, gerçekçi donanım hatalarının etkilerinin incelenmesi büyük önem taşımaktadır. Donanımsal hatalarla ilgili araştırmaların haberleşme sistemleri üzerinde yoğun bir şekilde devam ettiği görülmektedir. Literatürde donanımsal kusurlara sahip OFDM sistemi ile ilgili yayınlanmış nitelikli dergi ve konferans çalışmaları bulunmaktadır. Ayrıca literatürde donanımsal hataları içeren OFDM-IM sisteminin performansının değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır.

Önceki çalışmalarda OFDM-IM’nin ideal koşullar altında ve CSI varlığında performans değerlendirmesi özel frekans seçici Rayleigh sönmlemeli kanallar üzerinde araştırılmıştır. Verici ve alıcı tarafta meydana gelen HWI dikkate alınarak yapılan önceki çalışmalardan farklı olarak Rayleigh ve Rician sönmlemeli kanalların yanı sıra Nakagami-m ve Weibull sönmlemeli kanallarında

OFDM-IM performansı incelenmiştir. Kablosuz ağlara uyarlamak için RIS'lerin modellenmesi, analizi ve tasarımı önemli bir araştırma konusudur. RIS'ler; röleler ve MIMO ışın şekillendirme gibi diğer benzer teknolojilerin aksine herhangi bir güç kaynağı ve karmaşık işleme, kodlama ve kod çözme algoritmalarına ihtiyaç duymazlar. Bu nedenle hata olasılığını azaltan RIS destekli HWI ve IQI etkilerini içeren OFDM-IM sistemi ile ilgili performans analizleri yapılmış, RIS eleman sayısının, HWI katsayısının performansa etkileri araştırılmıştır. Üzerine çarpan radyo dalgalarını modifiye edebilen çok sayıda düşük maliyetli ve pasif elemandan oluşan RIS'lerin IQI etkisine sahip OFDM-IM sisteminin performansını artırdığı görülmüştür.

Kablosuz haberleşme sistemlerindeki alıcı ve verici arasındaki uyumsuzluklardan biri olan IQI; yerel osilatörün neden olduğu, alıcı ve verici taraflarında I ve Q kolları arasındaki faz ve genlik uyumsuzluğunu ifade eder. Bu kapsamda yeni nesil kablosuz ve gezgin haberleşme sistemleri için başarımlı oldukça iyi olan OFDM-IM teknolojisindeki IQI etkisi; Rayleigh, Nakagami-m ve Weibull gibi yaygın kanal ortamlarında incelenerek performans analizleri analitik ve bilgisayar benzetimleri ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca IQI etkisi dikkate alınarak OFDM-IM teknikleri RIS sistemleri ile birleştirilmiştir. Elde edilen IQI etkisinde RIS destekli OFDM-IM için literatürde yaygın olarak kullanılan sönümlü kanal ortamları kullanılarak analitik ve bilgisayar benzetimi sonuçları elde edilmiştir.

İş paketi 1 ile ilgili olarak; aşağıda verilen makaleler yayınlanmış ve bildiriler sunulmuştur:

- Ceniklioglu, B., Develi, I., and Canbilen, A. E., “Error Analysis of OFDM-IM Systems for Beyond 5G: The Effect of IQI at Transceiver”, International Journal of Communication Systems, 37 (14), 2024, DOI 10.1002/DAC.5868.
- Ceniklioglu, B., Develi, I., Canbilen, A. E., “The Effect of Hardware Impairments on OFDM-IM Systems over Generalized Non-Homogeneous Fading Channels”, IEEE International Conference on Communication, Networks, and Satellite (ComNetSat), 2023, Malang, Indonesia, pp. 505-510, DOI: 10.1109/COMNETSAT59769.2023.10420554.
- Alsalamah, H., Develi, I., Karahan, B., “Practical Implementation of OFDM-IM: Investigating IQI Effects with SDR Technology”, IEEE International Conference on Contemporary Computing and Communications, (InC4), 2025, Accepted, Bangalore, India.

• Alsalameh, H., Develi, I., Karahan, B., “Performance Analysis of Golay-Coded OFDM-IM Systems: A USRP-Based Approach”, IEEE International Conference on Contemporary Computing and Communications, (InC4), 2025, Accepted, Bangalore, India.

İş paketi 2 ile ilgili olarak; aşağıda verilen makaleler yayınlanmış ve bildiriler sunulmuştur:

• Karahan, B., Develi, I., Canbilen, A. E., Alsalameh, H., “ABER Performance of OFDM-IM Systems by RIS Design in the Presence of IQI and α - μ Fading”, Engineering Science and Technology, an International Journal, vol. 56, 101778, 2024.

• Karahan, B., Develi, I., “The Impact of Transceiver IQI on RIS-Assisted OFDM-IM over η - μ Fading Channels”, IEEE International Conference on Communication, Networks, and Satellite (ComNetSat), 2024, pp. 641-645, Lombok, Indonesia.

• Ceniklioglu, B., Develi, I., Canbilen, A. E., “On the Performance of RIS-Assisted OFDMIM: Impact of Hardware Impairments”, IEEE Symposium on Wireless Technology Applications, (ISWTA), pp. 24-28, 15-16 August 2023, Kuala Lumpur, Malezya.

• Ceniklioglu, B., Develi, I., Canbilen, A. E., “Reconfigurable Intelligent Surface-Assisted OFDM-IM for Beyond 5G Mobile Networks: ML and LLR Detector Designs”, IEEE International Conference on Contemporary Computing and Communications, (InC4), 2023.

• Ceniklioglu, B., Develi, I., Canbilen, A. E. (2025). Performance analysis of RIS-empowered OFDM-IM communications under Weibull fading and joint Tx/Rx I/Q imbalance. Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences 33 (6): 803-815. <https://doi.org/10.55730/1300-0632.4158>.

Konusu oldukça güncel olan bu projenin son dönem için sonuçları, uluslararası konferanslarda kabul edilmiş, sunulmuş ve dergi makalesi olarak kabul edilmiştir. Bu kapsamda haberleşme alanında ilk dönem proje sonuçlarının literatüre katkı sağladığı görülmüş olup, ilerleyen dönemlerde de bilimsel dünyada dikkat çekeceği ve mevcut boşlukları dolduracağı düşünülmektedir. Projenin ilerlemesi ile beraber belirli bir bilgi birikimi sağlanarak, yeni nesil kablosuz haberleşme sistemlerinin oluşumuna katkıda bulunmuştur.

Tahsis kapsamında yürütülen ikinci projemiz olan FAPD-2025-13944 No’lu ve “*Gelecek Nesil 6G Alanındaki Gelişmelerin Takip Edilmesi ve Mevcut 5G’ye Kıyasla Sağlayacağı Yeteneklerin Araştırılması*” başlıklı proje kapsamındaki faaliyetler devam etmektedir.

Gelecek nesil 6G haberleşme sistemlerine ait tanımlamaların yakından izlenmesi gerçekleştirilmiş ve yeni tanımlamaların, mevcut 5G sistemlerine kıyasla sağlayacağı avantajların neler olabileceği takip edilmektedir. Ayrıca, yeniden yapılandırılabilir akıllı yüzeylerin (Reconfigurable Intelligent Surface – RIS), 6G sistemlerinde kullanım planlamalarına ait literatür de takip edilmektedir. Bu proje üzerindeki faaliyetlerimiz devam etmektedir.

2. ARAŞTIRMA GRUBU BÜNYESİNDE DEVAM EDEN DİĞER PROJE FAALİYETLERİNİN DURUMU

Araştırma grubu bünyesinde tahsise konu olan projeler dışında yürüten diğer projelerin ilerleyişi hakkında bilgi verilmelidir.

Araştırma grubu bünyesinde; tahsise konu olan proje dışında, lisans öğrencilerle birlikte TEKNOFEST 2025 bünyesinde “Yakın Uzay Yolcusu” ve “Multi-spektral Mekanik Filtreleme Modülü” kategorilerindeki yarışmalara katılım sağlanmıştır.

Mersat-2 uydumuz, anlık telemetri ve görüntü verilerini yer istasyonuna aktarma kabiliyetine sahip bir platform olarak tasarlanmıştır. Bu yetenekleri sayesinde model uydu, potansiyel olarak haberleşme, keşif ve gözetleme (Reconnaissance and Surveillance) gibi uygulamalar için bir konsept kanıtlama (proof-of-concept) görevi görmektedir. Roket aracılığıyla fırlatılan uydu, fırlatma anından itibaren yer istasyonu ile çift yönlü bir iletişim bağlantısı kurmuş, görev süresince topladığı tüm verileri kesintisiz olarak iletmiştir.

Görev senaryosu gereği, 700 metre irtifada ana taşıyıcı roket sisteminden olarak ayrılan uydu, birinci paraşüt sistemini devreye sokarak kontrollü alçalma fazına geçmiştir. 400 metre irtifada ise taşıyıcı platformdan otonom ayrılan görev yükü (payload), kendi sekonder paraşütünü açarak inişine devam etmiştir. Kurtarma operasyonlarını kolaylaştırmak amacıyla, görev yükü yere indiğinde entegre buzzer sistemi aracılığıyla sesli bir konum sinyali yayınlamıştır. Tüm bu operasyonel süreç boyunca platformdan yalnızca veri alınmakla kalmamış, aynı zamanda yer istasyonundan uyduya telekomutlar

gönderilerek iki yönlü iletişim yeteneği doğrulanmıştır. Bu sayede, erişilmesi güç irtifa ve lokasyonlarda kablosuz bir iletişim köprüsü kurulabileceği gösterilmiştir. Takımımız, bu kategoride finale kalmıştır.

Mersat-3 görevi, platformun yeteneklerini stratosferik irtifalara taşıyarak çok daha karmaşık bir misyonu hedeflemiştir. Uydu, dikeyde ortalama 30.700 metre irtifaya ulaşmıştır. Uçuş sırasında, her 2000 metrelik irtifa kazanımında kendi eksenini etrafında 90 derece dönerek, üzerindeki görüntüleme sistemiyle panoramik kayıtlar gerçekleştirmiştir.

Bu görevin en kritik yeteneklerinden biri, bir iletişim rölesi olarak işlev görmesidir. Üzerindeki uzun menzilli haberleşme modülleri ve otomatik uydu takip sistemi sayesinde hem fırlatma bölgesi Aksaray'daki hem de hedef bölge Konya'daki iki ayrı yer istasyonuna eş zamanlı veri aktarımı yapmıştır. Daha da önemlisi, Aksaray'dan Konya'ya ve Konya'dan Aksaray'a şifrelenmiş veri ileterek, aralarında doğrudan görüş hattı (Line-of-Sight, LOS) bulunmayan iki uzak nokta arasında güvenli bir iletişim kanalı kurmuştur.

Uçuş sırasında kaydedilen en düşük dış ortam sıcaklığı -55°C iken, uydu içerisindeki en düşük iç sıcaklık -5°C olarak ölçülmüştür. Bu 50°C 'lik sıcaklık farkı, pasif termal kontrol sistemi olarak kullanılan strafor yalıtımının yüksek verimliliğini kanıtlamaktadır. Ek olarak, güç sisteminin kararlılığını sağlamak amacıyla batarya etrafına entegre edilen aktif bir ısıtıcı sistemi, lityum-iyon hücrelerinin soğuğa bağlı kapasite ve performans düşüşü yaşamasını başarıyla engellemiştir.

MERSAT-3 tasarımı, TEKNOFEST 2025 “Model Uydu Yarışması” Yakın Uzay yolcusu kategorisinde şampiyon olarak birincilik ödülünü kazanmıştır.



MERGEN takımının şampiyonluk pozu

3. 2025 YILI İÇERİSİNDE ÜNİVERSİTENİN STRATEJİK PLAN AR-GE HEDEFLERİNE SUNULAN KATKI

Laboratuvar ve/veya ofis alanı tahsis edilen Araştırma Gruplarının Üniversite Stratejik Planı Ar-Ge hedef kartlarında yer alan performans göstergelerine katkı sunacak nitelikli bilimsel yayın, proje, patent vb. gibi bilimsel çıktılar üretmesi beklenir. (Argepark Laboratuvar Ve Ofis Alanı Tahsisine İlişkin Usul Ve Esaslar Madde 15)

Bu kapsamda Üniversitemiz 2022-2026 Stratejik Planına sunduğunuz katkıları belirtiniz.

Araştırma kapasitesinin artırılması (2022-2026 Stratejik Plan Hedef (H2.1)):

Araştırma kalitesinin artırılması (2022-2026 Stratejik Plan Hedef (H2.2)):

Tahsise konu olan proje faaliyetlerinin çıktıları; 2 SCI-Expanded kapsamındaki dergide ve 2 uluslararası konferansta sunulmuştur:

Ceniklioğlu, B, Develi, I, & Canbilen, A. (2025). Performance analysis of RIS-empowered OFDM-IM communications under Weibull fading and joint Tx/Rx I/Q imbalance. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences* 33 (6): 803-815. <https://doi.org/10.55730/1300-0632.4158>

Canbilen, AE; Develi, I and Gültekin, SS, (2025). Error performance of DF cooperative SMTs with I/Q imbalance over Beckmann fading channels, *Digital Signal Processing*, 156.

Hussam Alsalameh, Ibrahim Develi, Busra Karahan (2025). Practical Implementation of OFDM-IM: Investigating IQI Effects with SDR Technology, 2025 IEEE International Conference on Contemporary Computing and Communications (InC4).

Hussam Alsalameh, Ibrahim Develi, Busra Karahan (2025). Performance Analysis of Golay-Coded OFDM-IM Systems: A USRP-Based Approach, 2025 IEEE International Conference on Contemporary Computing and Communications (InC4).

Araştırma işbirliğinin artırılması (2022-2026 Stratejik Plan Hedef (H2.3)):

Bu yıl içerisinde tamamlanan 1001 projesi kapsamında, Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesinden Doç. Dr. Ayşe Elif CANBİLEN ve Uşak Üniversitesi'nden Öğr. Gör. Dr. Büşra CENİKLİOĞLU ile iş birliği yapılmıştır. Üniversiteler arası, proje bazlı araştırma iş birliğine devam edilmektedir.

4. BİR SONRAKİ DÖNEMDE YAPILMASI PLANLANAN ÇALIŞMALAR

TEKNOFEST 2026 bünyesinde Şanlıurfa'da düzenlenecek yarışmaya katılmak için hazırlık yapılacaktır. İhtiyaçlarını, yeni yazılacak bir BAP projesi kapsamında temini planlanmaktadır. FAPD-2025-13944 No'lu ve "Gelecek Nesil 6G Alanındaki Gelişmelerin Takip Edilmesi ve Mevcut 5G'ye Kıyasla Sağlayacağı Yeteneklerin Araştırılması" başlıklı proje kapsamındaki faaliyetlere ise devam edilecektir ve 2026 yılı içerisinde tamamlanması öngörülmektedir. ADP kapsamında yeni bir projenin başlatılması da planlanmaktadır.