

TÜBİTAK 1002-A Proje Önerisi — Çok-Sensörlü Anti-Drone (C-UAS) Tespit ve Sınıflandırma Sistemi Prototipi

Oct 30, 2026 · @Önder Öztürk

Proje Künyesi

Proje, drone tehditlerini yalnızca **tespit eder ve sınıflandırır**; herhangi bir etkisizleştirme (jammer, spoofer, lazer vb.) bileşeni kapsam dışıdır.

Alan	Bilgi
Proje başlığı	Modüler Çok-Sensörlü Anti-Drone (C-UAS) Tespit ve Sınıflandırma Sistemi Prototipi
Program	TÜBİTAK 1002-A Hızlı Destek Modülü
Proje yürütücüsü	[Ad Soyad, Unvan]
Kurum / Fakülte / Bölüm	[Üniversite / Fakülte / Bölüm]
ARBİS / TC No	[doldurulacak]
ORCID	[doldurulacak]
Önerilen süre	12 ay
Önerilen bütçe	≤ 150.000 TL (burs dahil)
Araştırma alanı	Elektronik / Sinyal İşleme / Yapay Zekâ
Anahtar kelimeler	C-UAS, drone tespiti, sensör füzyonu, radar sinyal işleme, RF/yön bulma (DF), EO-IR, akustik dizi, yapay zekâ ile sınıflandırma

Not: Köşeli parantezli alanlar, ARDEB PBS başvurusu öncesi yürütücü tarafından doldurulmalıdır.

1. Özgün Değer

Bu proje, alçak irtifa ve düşük radar kesit alanına (RCS) sahip mini/mikro İHA'ları düşük maliyetli, modüler ve açık mimarili bir platformda güvenilir biçimde **tespit edip sınıflandıran** bir prototip geliştirmeyi amaçlar. Etkisizleştirme kapsam dışıdır; katkı tamamen durumsal farkındalık (situational awareness) katmanındadır.

1.1. Konunun Önemi ve Problem Tanımı

Ticari mini/mikro İHA'ların yaygınlaşması, havaalanları, kritik enerji ve haberleşme altyapıları, kamu etkinlikleri ve yerleşkeler için artan bir hava güvenliği riski oluşturmaktadır. Bu platformlar küçük RCS'leri, alçak ve yavaş uçuş profilleri ve kuş gibi hedeflerle karışabilen imzaları nedeniyle klasik hava savunma radarlarıyla güvenilir tespit edilemez.

Tek bir algılama yönteminin (yalnızca radar, yalnızca RF veya yalnızca optik) zayıf yönleri vardır: RF temelli tespit, otonom (görsel seyrüseferli) veya fiber-optik kontrollü drone'larda yetersiz kalır; radar, kuş/drone ayırımında zorlanır; optik sistemler görüş ve hava koşullarına bağlıdır. Bu nedenle **çok-sensörlü füzyon** ve yapay zekâ destekli sınıflandırma, güvenilir erken uyarı için kritik ihtiyacı oluşturur.

1.2. Literatür ve Mevcut Durum

Uluslararası yazında C-UAS tespiti; radar mikro-Doppler imzaları, RF protokol parmak izi, EO/IR tabanlı görsel tespit ve derin öğrenme tabanlı akustik sınıflandırma başlıklarında hızla gelişmektedir. Sensör füzyonu (örn. radar + EO/IR + RF) yanlış alarm oranını belirgin biçimde düşürmektedir. Türkiye'de ASELSAN (İHTAR, KANGAL), Meteksan (Retinar) gibi olgun sistemler mevcut olsa da bunlar yüksek maliyetli ve bütünleşik çözümlerdir; düşük maliyetli, açık mimarili, akademik araştırma ve eğitim amaçlı kullanılabilen modüler bir **tespit** platformu boşluğu bulunmaktadır.

1.3. Özgün Değer

Projenin özgün yönleri şunlardır:

- Radar, RF/DF, EO-IR ve akustik sensörlerin **açık mimari** (modbus/UART/Ethernet) ile tek bir füzyon çekirdeğinde birleştirilmesi.
- Gömülü/edge platformda (GPU/NPU) gerçek zamanlı çalışan, drone vs. kuş vs. gürültü ayırımı yapan yapay zekâ sınıflandırma modeli.
- Düşük güç tüketimli, taşınabilir ve düşük maliyetli (prototip $\leq$ 150.000 TL) tasarım.
- Yeniden üretilebilir, açık veri/arayüz formatıyla akademik yayına ve sonraki büyük ölçekli projelere temel oluşturması.

1.4. Amaç ve Ölçülebilir Hedefler

- **A1.** Çok-sensörlü (radar + RF/DF + EO-IR + akustik) tespit prototipini tasarlamak ve entegre etmek.
- **A2.** Sensör füzyonu ve izleme (track) yazılımı ile komuta-görüntüleme (C2 – yalnızca izleme/karar destek) arayüzü geliştirmek.
- **A3.** Drone/kuş/gürültü sınıflandırmada hedef başarımlar: kontrollü testlerde $\geq 90\%$ doğru sınıflandırma ve $\leq 5\%$ yanlış alarm.
- **A4.** Tespit menzili hedefi: tipik bir ticari mikro-İHA için gündüz koşullarında ≥ 1 km'de tespit ve sınıflandırma.
- **A5.** Laboratuvar ve kontrollü saha testleriyle performans doğrulaması ve en az bir bilimsel yayın/bildiri üretmek.

2. Yöntem

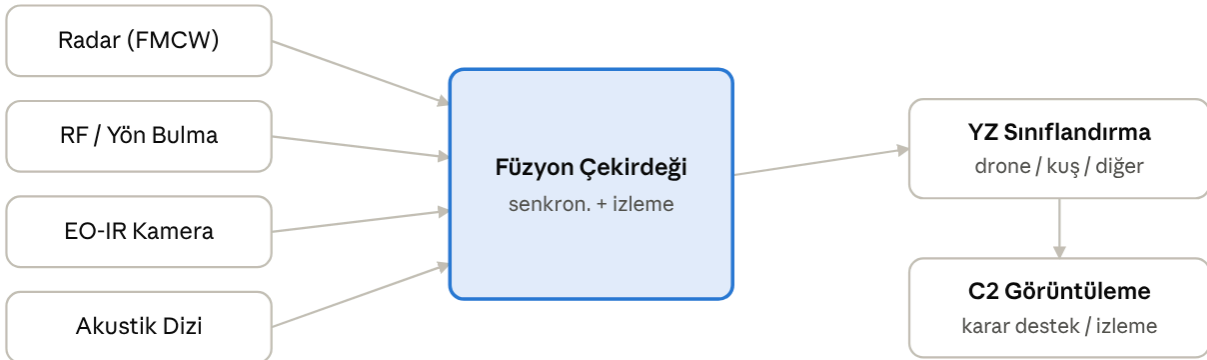
Sistem, dört algılama kipini (radar, RF/DF, EO-IR, akustik) ortak bir füzyon çekirdeğinde birleştiren katmanlı ve açık mimari bir yapı üzerine kuruludur. Algılama → füzyon/izleme → sınıflandırma → görüntüleme akışı tamamen durumsal farkındalık üretir.

2.1. Sistem Mimarisi

Her sensör kendi ön-işleme birimiyle veri üretir; veriler ortak bir zaman damgasıyla senkronize edilerek füzyon çekirdeğine aktarılır. Füzyon çekirdeği hedef izlerini (track) oluşturur, yapay zekâ sınıflandırıcısı hedef türünü (drone / kuş / diğer) belirler ve sonuçlar operatör arayüzünde (C2 – yalnızca görüntüleme ve karar destek) haritalandırılır.

Mimarinin blok şeması aşağıda verilmiştir.

Dört sensör tek füzyon çekirdeğinde birleşir; çıktı yalnızca görüntüleme



Sistem mimarisi · 4 sensör → füzyon → sınıflandırma → görüntüleme

Oklar veri akışını gösterir; hiçbir sensör yayın yapmaz — tüm kipler yalnızca dinler/gözler ve sonuç operatöre görüntülenir.

2.2. Kullanılacak Yöntemler

- **Radar sinyal işleme:** FMCW/Pulse-Doppler ham veriden menzil-Doppler haritası çıkarımı; mikro-Doppler imzalarıyla pervane dönüşünün tespiti ve CFAR tabanlı hedef seçimi.
- **RF tespit ve yön bulma (DF):** 400 MHz – 6 GHz bantında kontrol/telemetry linklerinin pasif sezimi ve anten dizisiyle geliş açısı (AoA) kestirimi. (Yalnızca dinleme/tespit; herhangi bir yayın/karıştırma yoktur.)
- **EO-IR görüntü işleme:** Gündüz ve termal kameralardan derin öğrenme tabanlı nesne tespiti (YOLO benzeri) ve PTZ ile görsel doğrulama/takip.
- **Akustik tespit:** Mikrofon dizisiyle pervane/motor sesinin spektral analizi ve geliş yönü kestirimi; kötü görüş koşullarında tamamlayıcı erken uyarı.
- **Sensör füzyonu ve izleme:** Kalman/IMM tabanlı çoklu-hedef izleme ve sensörler arası karar birleştirme ile yanlış alarm azaltımı.
- **Yapay zekâ sınıflandırma:** Radar mikro-Doppler, akustik spektrogram ve görüntü özniteliklerini birleştiren çok-kipli sınıflandırıcı; gömülü/edge platformda gerçek zamanlı çalıştırma.

2.3. Doğrulama ve Test Metodolojisi

Prototip, önce laboratuvarında sensör bazında (birim testler), sonra bütünleşik olarak kontrollü açık saha testlerinde doğrulanacaktır. Testlerde izinli/kayıtlı ticari bir test drone'u bilinen uçuş profillerinde uçurularak tespit menzili, sınıflandırma doğruluğu ve yanlış alarm oranı ölçülecektir. Tüm uçuş testleri ilgili hava sahası/SHGM izinleri ve kurumsal etik/güvenlik kuralları çerçevesinde yapılacaktır.

3. İş Paketleri ve İş-Zaman Çizelgesi

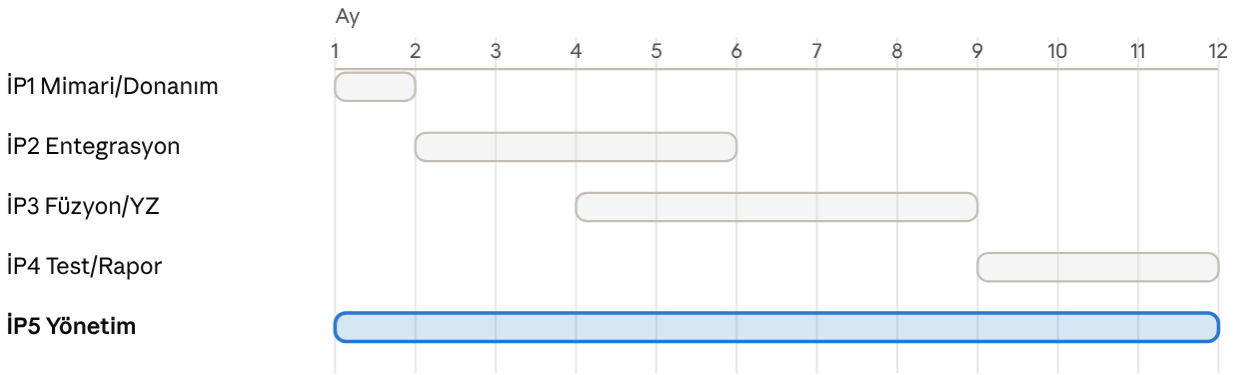
Proje 12 ay içinde beş iş paketiyle yürütülür; İP5 (yönetim ve yayım) tüm süreye yayılır.

3.1. İş Paketleri

İP	Ad	Aylar	Temel İşler	Çıktı
İP1	Sistem Mimarisi ve Donanım Seçimi	1-2	Gereksinim analizi, mimari tasarım, bileşen seçimi ve tedarik	Mimari dokümanı, donanım listesi
İP2	Sensör Entegrasyonu ve Senkronizasyon	2-6	Mekanik/elektriksel entegrasyon, veri protokolleri, ortak zaman damgası	Entegre sensör düzeneği

İP	Ad	Aylar	Temel İşler	Çıktı
İP3	Füzyon, İzleme ve YZ Sınıflandırma Yazılımı	4-9	Füzyon/izleme algoritmaları, veri seti, sınıflandırıcı eğitimi, C2 arayüzü	Çalışan yazılım + model
İP4	Test, Doğrulama ve Raporlama	9-12	Laboratuvar + kontrollü saha testleri, performans ölçümü, raporlama	Test raporu, yayın taslağı
İP5	Proje Yönetimi ve Yayım	1-12	Koordinasyon, ilerleme izleme, makale/bildiri hazırlığı	Ara/sonuç raporları

İş paketleri 12 aya yayılır; İP5 yönetim tüm süreyi kapsar



İş-zaman çizelgesi · 5 iş paketi, 12 ay

İP2-İP4 bilinçli olarak kısmen örtüşür; İP5 (yönetim ve yayım) tüm süreye yayılır.

3.2. Başarı Ölçütleri

- Bütünleşik prototipin kontrollü testte çalışır durumda olması.
- Sınıflandırma doğruluğu $\geq \%90$, yanlış alarm $\leq \%5$ (kontrollü senaryo).
- Tipik mikro-İHA için gündüz ≥ 1 km tespit/sınıflandırma.
- En az 1 ulusal/uluslararası bildiri veya makale çıktısı.

3.3. Risk Yönetimi

Risk	Olasılık / Etki	B Planı
Donanım tedarik gecikmesi (ithal bileşen)	Orta / Yüksek	Erken sipariş, yerli muadil, modüler alternatif

Risk	Olasılık / Etki	B Planı
Düşük RCS hedefte radar yetersizliği	Orta / Orta	Çok-sensör füzyonuyla telafi (RF/EO-IR/akustik ağırlığını artırma)
Veri seti yetersizliği (YZ eğitimi)	Orta / Orta	Kamu veri setleri + kontrollü saha kayıtlarıyla veri artırımı
Saha testi izin/koşul kısıtları	Düşük / Orta	İzinli alan planlaması, laboratuvar/ha-in-the-loop benzetim ile telafi
Bütçe üst limiti aşımı	Düşük / Orta	Önceliklendirme; çekirdek tespit kipleri önce, akustik opsiyonel

4. Gerekli İnorganik Donanım Listesi

Aşağıdaki tüm bileşenler **tespit, doğrulama, işleme ve görüntüleme** amaçlıdır; etkisizleştirici (jammer, spoofer, lazer silah, HPM) bileşen yoktur. Birim maliyetler prototip seviyesinde yaklaşıktır ve kesin tekliflerle güncellenecektir.

#	Bileşen	Özellik	Amacı	Tahmini birim (TL)
1	FMCW / Pulse-Doppler Radar Modülü	X/Ku-band, menzil-Doppler, mikro-Doppler	Birincil hava hedefi tespiti	35.000–60.000
2	RF Dedektör + DF Anten Dizisi	400 MHz–6 GHz, pasif sezim + yön bulma	Kontrol/telemetri linki tespiti ve AoA	20.000–35.000
3	EO/IR PTZ Kamera	Gündüz HD + termal, otomatik takip	Görsel doğrulama ve sınıflandırma	25.000–40.000
4	Akustik Mikrofon Dizisi	Çok-mikrofonlu dizi + ön-işleme	Tamamlayıcı pasif tespit (kötü görüş)	4.000–8.000
5	Edge İşlem Birimi (GPU/NPU)	Jetson sınıfı gömülü modul	Gerçek zamanlı YZ sınıflandırma	15.000–25.000
6	Stabilize Gimbal / Pan-Tilt	2 eksen, enkoderli	Kamera stabilizasyonu ve takip	8.000–15.000

#	Bileşen	Özellik	Amacı	Tahmini birim (TL)
7	Lazer Mesafe Ölçer (LRF)	Göz-güvenli, pasif menzil	Menzil doğrulaması	5.000–10.000
8	Ağ ve Zaman Senkronizasyonu	Switch + GPS/PTP zaman kaynağı	Sensörler arası ortak zaman damgası	3.000–6.000
9	C2 Bilgisayar + Ekran	Endüstriyel PC / gömülü sistem	Füzyon ve operatör arayüzü	15.000–25.000
10	Güç Sistemi	Batarya / UPS / güç dağıtım	Saha beslemesi	5.000–10.000
11	Tripod / şasi / kablolama / muhafaza	IP korumalı, taşınabilir	Mekanik entegrasyon	5.000–10.000

Kapsam notu: Radar en pahalı kalemdir. 150.000 TL üst limitine uymak için bütçe bölümünde çekirdek kipler (RF/DF + EO-IR + akustik + edge işlemci) önceliklendirilmiş, radar ise opsiyonel/kurum envanterinden temin edilebilir kalem olarak konumlandırılmıştır.

5. Bütçe Taslağı

Bütçe, 1002-A üst limiti (≈ 150.000 TL, burs dahil) içinde kalacak şekilde çekirdek tespit kiplerine öncelik verir. Radar, bütçe uygunsa eklenir ya da kurum envanterinden sağlanır.

Bütçe kalemi	Açıklama	Tutar (TL)
Makine-Teçhizat (çekirdek)	RF/DF + EO-IR + akustik dizi + edge işlemci + gimbal + C2 + ağ/güç	105.000
Sarf Malzeme ve Mekanik	Konektör, kablo, muhafaza, baskı devre, 3B baskı parçaları	15.000
Hizmet Alımı	Kalibrasyon, test desteği, yazılım/lisans	12.000
Seyahat	Kontrollü saha testi ulaşım/konaklama	8.000
Bursiyer (varsa)	Lisansüstü öğrenci desteği	10.000
Toplam		150.000

Gerekçe: Çekirdek senaryo tek başına çalışan bir çok-sensörlü tespit prototipi üretir. Radar eklenecekse (tahmini 35.000–60.000 TL) ya kurum envanteri kullanılır ya da ayrı/ek kaynak (örn. 1001, altyapı projesi) önerilir; bu durum bütçe metninde açıkça belirtilmelidir. Kesin rakamlar üç teklif usulüyle güncellenecektir.

6. Yaygın Etki ve Beklenen Çıktılar

Proje, düşük maliyetli ve açık mimarili bir çok-sensörlü tespit prototipi üreterek hem bilimsel hem teknolojik çıktı sağlar.

6.1. Bilimsel Çıktılar

- En az bir ulusal/uluslararası bildiri veya SCI/SCI-E makale.
- Sensör füzyonu ve YZ sınıflandırma için paylaşılabılır yöntem ve değerlendirme metrikleri.

6.2. Teknolojik Çıktılar

- Çalışan laboratuvar/saha tespit prototipi (hedef TRL 4–5).
- Yeniden üretilebilir açık arayüz/veri formatı ve C2 görüntüleme modülü.

6.3. Ekonomik ve Sosyal Etki

- Kritik altyapı ve kamu güvenliği için yerli, düşük maliyetli durumsal farkındalık yeteneğine katkı.
- Lisansüstü öğrenci yetiştirme ve kurumsal Ar-Ge kapasitesi gelişimi.

6.4. Sonraki Aşama Yol Haritası

Tespit prototipi olgunlaştıktan sonra, daha büyük ölçekli (örn. TÜBİTAK 1001 veya altyapı) bir projeye menzil/doğruluk artırımı ve operasyonel entegrasyon hedeflenebilir.

Etkisizleştirme yeteneği gerekiyorsa, bu kısım yetkili savunma sanayii kanalları (SSB çağrıları, ASELSAN/SAGE iş birliği) üzerinden, uygun izin ve denetim çerçevesinde ayrıca ele alınmalıdır.

7. Kaynaklar ve Başvuru Öncesi Notlar

7.1. Kaynakça (yer tutucu)

Aşağıdaki başlıklar, başvuru öncesinde güncel ve doğrulanmış atıflarla doldurulmalıdır (burada gerçek künye verilmemiştir):

- C-UAS / counter-UAS sistem mimarileri ve değerlendirme çalışmaları.
- Radar mikro-Doppler ile İHA/kuş ayırımı.
- RF parmak izi ve yön bulma (DF) ile drone tespiti.
- EO/IR ve derin öğrenme tabanlı görsel drone tespiti.
- Akustik dizi ile İHA tespiti ve sınıflandırma.
- Çok-sensörlü füzyon ve yanlış alarm azaltımı.

7.2. Başvuru Öncesi Tamamlanacaklar

- ☐ Yürütücü ad/unvan, kurum, bölüm ve ARBİS/ORCID bilgileri.
- ☐ Güncel literatür taraması ve gerçek atıflar.
- ☐ Kesin donanım modelleri ve uç teklif usulüyle fiyatlandırma.
- ☐ Saha testi için hava sahası/SHGM izinleri ve etik/güvenlik onayları.
- ☐ ARDEB PBS üzerinden elektronik başvuru ve kurum e-imza süreci.

Hatırlatma: Bu belge bir **taslağıdır** ve yalnızca tespit/sınıflandırma kapsamını içerir. Etkisizleştirme (jammer/spoofer/lazer) bileşenleri bilinçli olarak kapsam dışı bırakılmıştır; bu tür yetenekler yetkili savunma sanayii kanalları ve ilgili mevzuat çerçevesinde ele alınır.