



**TÜBİTAK–2209-A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA  
PROJELERİ DESTEĞİ PROGRAMI**

**ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU**

2025 Yılı

1. Dönem Başvurusu

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

**A. GENEL BİLGİLER**

<b>Başvuru Sahiplerinin Adı Soyadı:</b> Ramazan YILDIZ, Samin FEYZİ
<b>Araştırma Önerisinin Başlığı:</b> Açıklanabilir Yapay Zekâ (XAI) ve Dikkat Mekanizmaları ile Güçlendirilmiş Gerçek Zamanlı Atık Tespit Sistemi
<b>Danışmanın Adı Soyadı:</b> Arş. Gör. Satuk Buğrahan ÖZTÜRK
<b>Araştırmanın Yürütüleceği Kurum/Kuruluş:</b> Atatürk Üniversitesi

**ÖZET**

Türkçe özetin araştırma önerisinin (a) özgün değeri, (b) yöntemi, (c) yönetimi ve (d) yaygın etkisi hakkında bilgileri kapsamı beklenir. Bu bölümün en son yazılması önerilir.

Bu projede, atık yönetimi sektöründe kritik bir öneme sahip olan otomatik atık tespit ve sınıflandırma süreçlerinin iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Bu hedefe ulaşmak amacıyla, açıklanabilir yapay zeka (XAI) teknikleri ve dikkat mekanizmaları (attention mechanisms) ile güçlendirilmiş yenilikçi bir derin öğrenme sistemi geliştirilecektir. Türkiye'de yıllık 32 milyon ton belediye atığının üretilmesi ve geri dönüşüm oranının %13 gibi düşük bir seviyede kalması, konunun aciliyetini ortaya koymaktadır. Mevcut manuel ayırma sistemlerinin %60-70 verimlilikle çalışması ve yüksek insan hatası oranları, sektörde otomasyon ve yapay zeka destekli çözümlere olan ihtiyacı artırmaktadır.

Araştırma kapsamında, YOLOv10 derin öğrenme modeli kullanılarak PET plastik, HDPE plastik, metal, cam, kağıt/karton, e-atık, kompozit ve organik olmak üzere 8 farklı atık kategorisinin gerçek zamanlı tespiti gerçekleştirilecektir. Literatürde bir ilk olarak, YOLOv10 modeline CBAM (Convolutional Block Attention Module) entegre edilecektir. Bu entegrasyonun, modelin ilgili özelliklere odaklanma kabiliyetini artırarak tespit doğruluğunu %1-4 oranında iyileştirmesi beklenmektedir.

Literatürde yaygın olarak "kara kutu" şeklinde çalışan mevcut sistemlerden farklı olarak, bu projede Grad-CAM tabanlı açıklanabilir yapay zeka entegrasyonu kullanılacaktır. Bu sayede, modelin karar verme süreci görselleştirilerek sistemin güvenilirliği ve şeffaflığı artırılacaktır. Ayrıca, Streamlit kütüphanesi kullanılarak geliştirilecek olan interaktif dashboard, gerçek zamanlı webcam desteği sunarak jüri sunumları gibi platformlarda canlı demo imkanı sağlayacaktır. Kullanıcılar bu dashboard üzerinden tespit sonuçlarını, XAI ısı haritalarını ve istatistiksel analizleri görsel olarak takip edebilecektir. Projenin bilimsel katkıları arasında, atık yönetiminde dikkat mekanizması ile açıklanabilir yapay zeka kombinasyonunun pratik bir sistem olarak sunulması, model karar süreçlerinin şeffaflaştırılması ve geri dönüşüm tesislerinde kullanılabilir bir altyapı oluşturulması bulunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Derin Öğrenme, Atık Yönetimi, Açıklanabilir Yapay Zeka, YOLOv10, Grad-CAM, CBAM, Dikkat Mekanizması, Gerçek Zamanlı Tespit

**1. ÖZGÜN DEĞER**

**1.1. Konunun Önemi, Araştırma Önerisinin Özgün Değeri ve Araştırma Sorusu/Hipotezi**

Araştırma önerisinde ele alınan konunun kapsamı ve sınırları ile önemi literatürün eleştirel bir değerlendirmesinin yanı sıra nitel veya nicel verilerle açıklanır.

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

Özgün değer yazılırken araştırma önerisinin bilimsel değeri, farklılığı ve yeniliği, hangi eksikliği nasıl gidereceği veya hangi soruna nasıl bir çözüm geliştireceği ve/veya ilgili bilim veya teknoloji alanlarına kavramsal, kuramsal veya metodolojik olarak ne gibi özgün katkılarda bulunacağı literatüre atıf yapılarak açıklanır.

Önerilen çalışmanın araştırma sorusu ve varsa hipotezi veya ele aldığı problemleri açık bir şekilde ortaya konulur.

### Konunun Önemi

Dünya Bankası verilerine göre, küresel atık üretimi 2050 yılına kadar %70 artarak yıllık 3.4 milyar tona ulaşma tehlikesiyle karşı karşıyadır [1]. Türkiye özelinde ise durum, yıllık 32 milyon ton belediye atığı üretimi ve OECD ortalaması olan %35'in çok altında kalan %13'lük geri dönüşüm oranı ile ciddiyetini korumaktadır [2].

İklim değişikliği ile mücadelede atık yönetiminin rolü kritiktir; nitekim düzensiz atık bertarafı, küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %5'ini oluşturmaktadır [3].

Mevcut atık ayırma sistemleri, bu sorunu çözmede yetersiz kalmaktadır. Manuel ayırma sistemleri, %60-70 aralığındaki düşük verimlilik oranları ve yüksek işçilik maliyetleri ile öne çıkmaktadır. Buna ek olarak, %15-25 oranında kalite kaybına yol açan insan hatalarından kaynaklanan kontaminasyon, önemli bir sorundur. Özellikle e-atık ve pil gibi tehlikeli atıkların yanlış sınıflandırılması ciddi çevresel riskler doğurmaktadır; kompozit ve özel atık türlerinin tespitindeki zorluklar ile gerçek zamanlı izleme sistemlerinin eksikliği, optimizasyonun önündeki temel engellerdir. Bu zorluklar, 2020 sonrası literatürde derin öğrenme tabanlı sınıflandırma çalışmalarını hızlandırmış, ilgili yayın sayısı 2020'de 12 iken 2024'te 31'e yükselmiştir [4].

### Literatürdeki Eksiklikler ve Araştırmanın Özgün Değeri

Yapılan güncel literatür taraması, mevcut çalışmalarda kritik eksiklikler olduğunu ortaya koymuştur. Sistemlerin yaklaşık %92'si, model kararlarının nedenlerini açıklayamayan "kara kutu" (black box) yapısındadır [6]. Oysa geri dönüşüm tesislerinde ve atık yönetimi uygulamalarında güvenilirlik için karar süreçlerinin şeffaf olması bir zorunluluktur. Ayrıca, dikkat mekanizmalarının kullanımı da sınırlıdır. CBAM gibi dikkat modüllerinin YOLOv8 ile entegrasyonu 2024-2025 literatüründe çalışılmış olsa da, YOLOv10 ve CBAM kombinasyonu atık yönetimi alanında henüz araştırılmamıştır [23]. Bir diğer önemli eksiklik ise pratik kullanılabilirlik sorunudur; akademik çalışmaların çoğu sadece model doğruluğuna odaklanırken, gerçek dünyada kullanılabilecek arayüzler veya canlı demo sistemleri sunmamaktadır [5]. Benzer şekilde, 2024'te yayınlanan en güncel modellerden olan YOLOv10'un atık yönetimi alanındaki kullanımı da henüz yeterince araştırılmamıştır [17].

Bu araştırma, tespit edilen bu eksikliklere doğrudan çözüm üreten özgün katkılar sunmaktadır. İlk olarak, literatürde bir ilk olarak YOLOv10 modeline CBAM (Convolutional Block Attention Module) entegre edilecektir. CBAM'ın YOLOv8'de %4.2 mAP artışı sağladığı [24] göz önüne alındığında, bu yeni kombinasyonun da atık tespitinde performans artışı sağlaması hedeflenmektedir. İkinci olarak, Grad-CAM tabanlı açıklanabilirlik (XAI) entegrasyonu ile "model neden bu kararı verdi?" sorusuna sistematik ve görsel yanıtlar verilecektir. Üçüncü olarak, Streamlit tabanlı geliştirilecek kullanıcı dostu arayüz, sistemin yalnızca statik görüntülerde değil, aynı zamanda canlı webcam akışında da çalıştığını gösterme olanağı sunacaktır. Bu interaktif demo sistemi, özellikle jüri sunumları ve potansiyel kullanıcılara yönelik canlı gösterimler için etkili bir araç olacaktır. Son olarak, tüm kod, model ağırlıkları ve veri seti açık kaynak olarak paylaşılarak gelecek araştırmalara temel oluşturulacaktır.

### Araştırma Sorusu ve Hipotezler

Bu bağlamda, araştırmanın temel sorusu şu şekilde tanımlanmıştır: "Dikkat mekanizması (CBAM) ve açıklanabilir yapay zeka teknikleri ile donatılmış bir atık tespit sistemi, mevcut 'kara kutu' sınıflandırma sistemlerine kıyasla güvenilirlik, doğruluk ve kullanılabilirlik açısından nasıl bir iyileştirme sağlar?"

Bu soruyu yanıtlamak için üç temel hipotez öne sürülmüştür: **(H1)** YOLOv10 + CBAM modeli, atık tespitinde mAP@0.5 > %87 doğruluğuna ulaşabilecek ve standart YOLOv10 modeline kıyasla %1-4 arasında bir

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

iyileştirme sağlayacaktır. **(H2)** Grad-CAM tabanlı açıklanabilirlik entegrasyonu, modelin yanlış sınıflandırma yaptığı durumların %80'inden fazlasında kök nedeni görselleştirebilecek ve böylece sistem güvenilirliğini

artıracaktır. **(H3)** Geliştirilen sistemin gerçek zamanlı webcam desteği ile jüri ve potansiyel kullanıcılar tarafından kullanılabilir bulunarak pratik değerini kanıtlayacağı öngörülmektedir.

### 1.2. Amaç ve Hedefler

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

Bu araştırmanın temel amacı, dikkat mekanizması ve açıklanabilir yapay zeka (XAI) yeteneklerine sahip, pratik kullanıma uygun ve gerçek zamanlı çalışabilen bir atık tespit ve sınıflandırma sistemi geliştirmektir.

Bu temel amaca ulaşmak için beş spesifik hedef belirlenmiştir. İlk hedef, model geliştirmeye odaklanmaktadır. Bu kapsamda, YOLOv10 modeline CBAM (Convolutional Block Attention Module) entegre edilecek ve 1500-2000 etiketlenmiş görüntü kullanılarak eğitilecektir. CBAM entegrasyonu sayesinde %1-4'lük bir iyileştirme ile mAP@0.5 metriğinde %87'nin üzerinde bir doğruluğa ulaşılması hedeflenmektedir. Geliştirilen modelin, GPU'da 30 FPS ve CPU'da 5 FPS üzerinde bir hıza ulaşarak PET, HDPE, metal, cam, kağıt, e-atık, kompozit ve organik olmak üzere 8 farklı atık kategorisini gerçek zamanlı tespit etmesi amaçlanmaktadır.

İkinci hedef, entegre edilen dikkat mekanizmasının analiz edilmesidir. CBAM'ın kanal (channel) ve uzamsal (spatial) dikkat haritaları görselleştirilerek, modelin hangi özelliklere ve bölgelere odaklandığı analiz edilecek ve elde edilen sonuçlar, baseline (standart) YOLOv10 modelinin performansı ile karşılaştırılacaktır.

Üçüncü hedef, sisteme açıklanabilirlik kazandırmaktır. Grad-CAM algoritması kullanılarak modelin karar süreçleri görselleştirilecektir. Test setindeki 100'den fazla görüntü için ısı haritaları üretilerek, her tespit için "model nereye baktı, neden bu kararı verdi?" sorusu yanıtlanacak ve özellikle yanlış sınıflandırma durumları için kök neden analizi yapılacaktır.

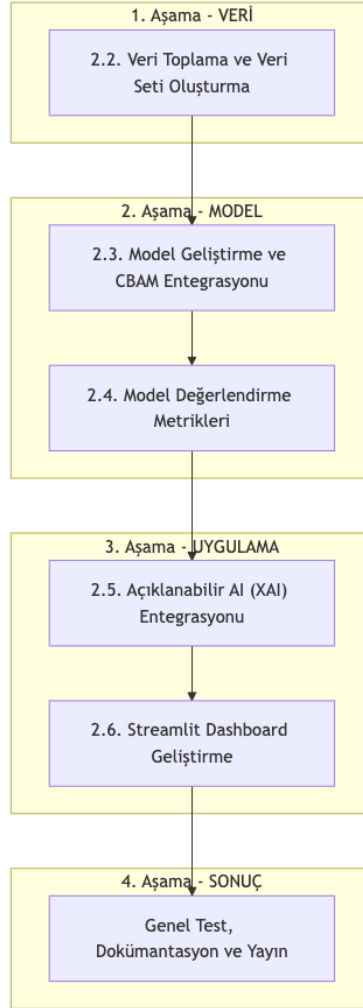
Dördüncü hedef, geliştirilen sistem için interaktif bir dashboard oluşturmaktır. Streamlit kütüphanesi kullanılarak kullanıcı dostu bir web arayüzü tasarlanacaktır. Bu arayüz; (1) Statik Görüntü Tespiti, (2) Gerçek Zamanlı Webcam, (3) XAI Analizi ve (4) İstatistikler olmak üzere dört ana modülden oluşacaktır. Jüri sunumları için otomatik bir demo modu da içerecek olan bu arayüz, görüntü yükleme, gerçek zamanlı analiz ve sonuçların gösterimi gibi işlevleri yerine getirecektir.

Son hedef ise kapsamlı bir performans değerlendirmesi yapmaktır. Modelin performansı farklı atık kategorileri bazında analiz edilecek, CBAM entegre edilmiş ve edilmemiş modeller arasında detaylı bir karşılaştırma yapılacak ve farklı donanımlar (GPU, CPU) üzerinde hız testleri gerçekleştirilecektir. Ayrıca, yanlış sınıflandırma durumları detaylı bir şekilde incelenecektir.

## 2. YÖNTEM

Araştırma önerisinde uygulanacak yöntem ve araştırma teknikleri (veri toplama araçları ve analiz yöntemleri dahil) ilgili literatüre atıf yapılarak açıklanır. Yöntem ve tekniklerin çalışmada öngörülen amaç ve hedeflere ulaşmaya elverişli olduğu ortaya konulur.

Yöntem bölümünün araştırmanın tasarımını, bağımlı ve bağımsız değişkenleri ve istatistiksel yöntemleri kapsamalıdır. Araştırma önerisinde herhangi bir ön çalışma veya fizibilite yapıldıysa bunların sunulması beklenir. Araştırma önerisinde sunulan yöntemlerin iş paketleri ile ilişkilendirilmesi gerekir.



Şekil 1. Proje kapsamında gerçekleştirilecek araştırma aşamalarının genel akış şeması.

### 2.1. Araştırma Tasarımı

Bu araştırma, deneysel tasarım ve uygulama geliştirmeyi birleştiren karma bir yaklaşım izleyecektir. Süreç beş ana aşamadan oluşmaktadır: Veri Toplama ve Hazırlama (3 hafta), Model Eğitimi ve CBAM Entegrasyonu (4 hafta), XAI Entegrasyonu (3 hafta), Dashboard Geliştirme (4 hafta) ve son olarak Test ve Dokümantasyon (2 hafta).

## **2.2. Veri Toplama ve Veri Seti Oluşturma**

Projenin veri seti, literatürdeki yaygın açık kaynak veri setleri ile desteklenecektir. Bu setlere ek olarak, veri çeşitliliğini artırmak amacıyla farklı koşullarda (aydınlatma, arka plan) özgün görüntüler toplanacaktır. Tüm görüntüler, çevrimiçi bir etiketleme platformu kullanılarak proje kapsamında belirlenen sekiz farklı atık kategorisi için standart formatta etiketlenecektir.

Görüntüler, modelin giriş boyutuna göre ön işleme tabi tutulacak ve veri seti eğitim, validasyon ve test olarak bölünecektir. Modelin genelleme kabiliyetini artırmak ve aşırı öğrenmeyi engellemek için döndürme, renklendirme ve gürültü ekleme gibi çeşitli veri artırma (augmentation) teknikleri uygulanarak veri seti çoğaltılacaktır. Hedef, her sınıf için yeterli sayıda örnek içeren, dengeli ve büyük ölçekli bir nihai veri seti oluşturmaktır.

## **2.3. Model Geliştirme ve CBAM Entegrasyonu**

Model mimarisi, güncel ve yüksek performanslı bir nesne tespit modeli olan YOLOv10 temeline dayanacaktır. Projenin temel yeniliği olarak, bu modele CBAM (Convolutional Block Attention Module) dikkat mekanizması entegre edilecektir. Bu entegrasyonun, modelin hem kanal hem de uzamsal olarak önemli özelliklere odaklanma yeteneğini artırarak tespit doğruluğunu iyileştirmesi beklenmektedir.

Eğitim süreci, yüksek işlem gücü gereksinimi nedeniyle bulut tabanlı GPU hizmetleri (Google Colab vb.) üzerinde gerçekleştirilecektir. Geliştirme, kodlama ve test süreçleri ise araştırmacının kişisel geliştirme bilgisayarı (Macbook Air M1) üzerinde yürütülecektir. Eğitim, ön-eğitilmiş model ağırlıkları kullanılarak ve standart hiperparametre ayarları uygulanarak gerçekleştirilecektir.

## **2.4. Model Değerlendirme Metrikleri**

Geliştirilen modelin başarısı, hem doğruluk hem de performans metrikleri ile kapsamlı bir şekilde değerlendirilecektir. Doğruluk analizinde Precision, Recall, F1-Score ve özellikle mAP (mean Average Precision) metrikleri temel alınacaktır. Performans metrikleri ise sistemin gerçek zamanlı çalışabilirliğini ölçmek için tespit süresi (Inference Time) ve saniyedeki kare sayısı (FPS) olacaktır.

Performans testleri, hem bulut GPU ortamındaki (yüksek FPS hedefi) hem de yerel makinedeki (kabul edilebilir FPS hedefi) verimliliği ölçecek şekilde yapılacaktır. Temel hedef, CBAM entegrasyonunun, standart (baseline) modele kıyasla mAP değerinde ölçülebilir bir iyileşme sağlaması ve her iki platformda da verimli çalışmasıdır.

## **2.5. Açıklanabilir Yapay Zeka (XAI) Entegrasyonu**

Modelin "kara kutu" yapısını şeffaflaştırmak ve karar süreçlerini anlaşılır kılmak amacıyla Grad-CAM tekniği implemente edilecektir. Bu yöntem, modelin bir karar verirken görüntünün hangi bölgelerine odaklandığını gösteren ısı haritaları (heatmap) üretecektir. Bu ısı haritalarına ek olarak, entegre edilen CBAM modülünün kendi dikkat haritaları da görselleştirilecektir. Bu iki katmanlı analiz, her tespit için "model neden bu kararı verdi?" sorusuna görsel ve metinsel bir açıklama getirecek, böylece sistemin güvenilirliğini artıracaktır.

## **2.6. Streamlit Dashboard Geliştirme**

Proje çıktılarının interaktif bir şekilde sunulması ve test edilmesi amacıyla Streamlit kütüphanesi kullanılarak bir web arayüzü (dashboard) geliştirilecektir. Bu arayüz, yerel geliştirme makinesinde (Macbook Air M1) test edilecektir.

## 3 PROJE YÖNETİMİ

## 3.1 İş- Zaman Çizelgesi

Araştırma önerisinde yer alacak başlıca iş paketleri ve hedefleri, her bir iş paketinin hangi sürede gerçekleştirileceği, başarı ölçütü ve araştırmanın başarısına katkısı “İş-Zaman Çizelgesi” doldurularak verilir. Literatür taraması, gelişme ve sonuç raporu hazırlama aşamaları, araştırma sonuçlarının paylaşımı, makale yazımı ve malzeme alımı ayrı birer iş paketi olarak gösterilmemelidir.

Başarı ölçütü olarak her bir iş paketinin hangi kriterleri sağladığında başarılı sayılacağı açıklanır. Başarı ölçütü, ölçülebilir ve izlenebilir nitelikte olacak şekilde nicel veya nitel ölçütlerle (ifade, sayı, yüzde, vb.) belirtilir.

## İŞ-ZAMAN ÇİZELGESİ (\*)

İP No	İş Paketlerinin Adı ve Hedefleri	Kim(ler) Tarafından Gerçekleştirileceği	Zaman Aralığı (..-.. Ay)	Başarı Ölçütü ve Projenin Başarısına Katkısı
1	<b>Veri Toplama ve Hazırlama:</b> Açık kaynak veri setlerinin ve toplanan özgün görüntülerin birleştirilmesi, etiketlenmesi ve veri artırma (augmentation) ile nihai veri setinin oluşturulması.	Proje Yürütücüsü (Araştırmacı)	0-1 Ay	Hedeflenen sayıda, sınıflar arası dengesi sağlanmış ve kalite kontrolü yapılmış bir atık veri setinin oluşturulması. (Başarı Yüzdesi: %15)
2	<b>Model Eğitimi ve CBAM Entegrasyonu:</b> Standart (baseline) YOLOv10 modelinin eğitilmesi. CBAM modülünün YOLOv10'a entegre edilmesi, eğitilmesi ve iki modelin performansının karşılaştırılması.	Proje Yürütücüsü (Araştırmacı)	2-3 Ay	Standart model ile CBAM'lı modelin eğitilmesi. CBAM entegrasyonunun model doğruluğu üzerindeki olumlu etkisini gösteren karşılaştırmalı performans raporunun hazırlanması. (Başarı Yüzdesi: %25)
3	<b>XAI Entegrasyonu:</b> Grad-CAM algoritmasının implemente edilmesi. CBAM dikkat haritalarının görselleştirilmesi. Model kararlarını açıklayan XAI modülünün geliştirilmesi.	Proje Yürütücüsü (Araştırmacı)	2-3 ay	Grad-CAM ısı haritalarının ve CBAM dikkat haritalarının başarılı bir şekilde üretilmesi. Model kararlarını şeffaflaştıran XAI modülünün tamamlanması. (Başarı Yüzdesi: %25)

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

4	<b>İnteraktif Dashboard Geliştirme:</b> Streamlit kullanılarak dört modüllü (Statik Tespit, Gerçek Zamanlı Webcam, XAI Analizi, İstatistikler) web arayüzünün tasarlanması ve geliştirilmesi.	Proje Yürütücüsü (Araştırmacı)	1-2 Ay	Dört ana modülü içeren, kullanıcı dostu ve özellikle gerçek zamanlı webcam tespiti (M1 çipi üzerinde) başarıyla gerçekleştiren interaktif dashboard'un tamamlanması. (Başarı Yüzdesi: %20)
5	<b>Test ve Dokümantasyon:</b> Sistem entegrasyon testlerinin yapılması. Nihai performans analizinin ve CBAM etki değerlendirmesinin yapılması. Proje raporunun yazılması ve sunumun hazırlanması.	Proje Yürütücüsü (Araştırmacı)	0-1 Ay	Proje sonuçlarını içeren TÜBİTAK formatında nihai raporun yazılması, sunumun hazırlanması ve kodların açık kaynak (GitHub) olarak paylaşılması. (Başarı Yüzdesi: %15)

(\*) Çizelgedeki satırlar ve sütunlar gerektiği kadar genişletilebilir ve çoğaltılabilir.



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

### 3.2 Risk Yönetimi

Araştırmanın başarısını olumsuz yönde etkileyebilecek riskler ve bu risklerle karşılaşıldığında araştırmanın başarıyla yürütülmesini sağlamak için alınacak tedbirler (B Planı) ilgili iş paketleri belirtilerek ana hatlarıyla aşağıdaki Risk Yönetimi Tablosu'nda ifade edilir. B planlarının uygulanması araştırmanın temel hedeflerinden sapmaya yol açmamalıdır.

**RİSK YÖNETİMİ TABLOSU\***

İP No	En Önemli Riskler	Risk Yönetimi (B Planı)
1	Veri toplama sürecinde yeterli çeşitlilikte ve kalitede görüntü elde edilememesi.	Mevcut açık kaynak veri setlerinde daha kapsamlı tarama yapılacak. Veri artırma (augmentation) teknikleri daha yoğun ve çeşitli (örn: gürültü, kesme) kullanılacaktır.
1	Etiketleme sürecinin beklenenden uzun sürmesi ve zaman kaybı yaşanması.	Etiketleme platformunun (Roboflow) sunduğu otomatik etiketleme (auto-labeling) özellikleri kullanılarak süreç hızlandırılacak ve manuel kontrol ile devam edilecektir.
2	Model eğitimi için bulut GPU (Colab) kaynaklarında kesinti veya yetersizlik yaşanması	Alternatif bulut GPU platformları (Kaggle) ücretsiz kota dahilinde kullanılacaktır. Gerekirse, üniversitenin hesaplama kaynakları araştırılacaktır.
2	CBAM entegrasyonu sürecinde beklenen teknik zorluklar veya hatalar.	Alternatif ve daha basit dikkat mekanizmaları (örn: SE Modülü) denenecektir. En kötü senaryoda, proje standart (baseline) YOLOv10 modeli ile devam edecektir.
2	Modelin, hedeflenen doğruluk (mAP) seviyesine ulaşamaması.	Hiperparametre optimizasyonu yeniden yapılacak ve veri artırma teknikleri çeşitlendirilecektir. Model hedeflenen seviyenin bir miktar altında kalsa bile, elde edilen en iyi model ile projeye devam edilecektir.
3	Grad-CAM ısı haritalarının beklenen açıklayıcılık kalitesinde olmaması.	Alternatif XAI görselleştirme teknikleri (örn: LayerCAM) denenecektir. En kötü senaryoda, modelin iç özellik haritalarının (feature maps) doğrudan görselleştirilmesi sağlanacaktır.
4	Gerçek zamanlı webcam modülünde düşük FPS veya gecikme (performans) sorunları.	Video işleme için alternatif kütüphaneler (örn: OpenCV) denenecektir. Gerekirse, daha hafif bir model (örn: YOLOv10n) kullanılarak M1 çipi üzerindeki performans artırılacaktır.
4	Streamlit dashboard uygulamasında yavaşlama veya performans sorunları.	Streamlit'in 'cache' mekanizmaları kullanılarak modelin tekrar yüklenmesi engellenecek. Görüntü boyutları optimize edilecek ve gereksiz işlemler önleneyecektir.
Genel	Proje süresinin (16 hafta) iş paketlerini tamamlamak için yetmemesi.	Danışman ile haftalık ilerleme toplantıları yapılarak gecikmeler anında tespit edilecek. Projenin en kritik modülleri (Model entegrasyonu ve Webcam demosu) önceliklendirilerek tamamlanacaktır.

(\*) Tablodaki satırlar gerektiği kadar genişletilebilir ve çoğaltılabilir.

### 3.3. Araştırma Olanakları

Bu bölümde projenin yürütüleceği kurum ve kuruluşlardavar 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
Kişisel Geliştirme Bilgisayarı (Macbook Air M1)	Kod geliştirme, Streamlit dashboard tasarımı, M1 çipinin NPU (Neural Processing Unit) kabiliyetleri üzerinde yerel performans testleri ve webcam

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

	modülünün test edilmesi.
Bulut Bilişim Kaynakları (Google Colab Pro)	Yüksek işlem gücü gerektiren model eğitimi (CBAM entegrasyonu dahil), hiperparametre optimizasyonu ve büyük boyutlu veri setlerinin geçici depolanması.
Açık Kaynak Yazılımlar (Python, PyTorch, Ultralytics, Streamlit, OpenCV, Roboflow)	Veri etiketleme, model geliştirme, XAI analizi ve interaktif dashboard oluşturma dahil olmak üzere tüm proje geliştirme süreçlerinin temel araçları.

(\*) Tablodaki satırlar gerektiği kadar genişletilebilir ve çoğaltılabilir.

#### 4. YAYGIN ETKİ

Önerilen çalışma başarıyla gerçekleştirildiği takdirde araştırmadan elde edilmesi öngörülen ve beklenen yaygın etkilerin neler olabileceği, diğer bir ifadeyle yapılan araştırmadan ne gibi çıktı, sonuç ve etkilerin elde edileceği aşağıdaki tabloda verilir.

**ARAŞTIRMA ÖNERİSİNDEN BEKLENEN YAYGIN ETKİ TABLOSU**

Yaygın Etki Türleri	Önerilen Araştırmadan Beklenen Çıktı, Sonuç ve Etkiler
<b>Bilimsel/Akademik</b> (Makale, Bildiri, Kitap Bölümü, Kitap)	<ul style="list-style-type: none"><li>Ulusal/uluslararası bilimsel kongrelerde bildiri sunumu hedeflenmektedir.</li><li>YOLOv10+CBAM kombinasyonunun atık yönetiminde ilk kez kullanılmasıyla literatüre özgün bir katkı sağlanacaktır.</li><li>Proje kapsamında etiketlenen özgün atık veri seti, Kaggle veya Roboflow gibi platformlarda açık kaynak olarak yayınlanacaktır.</li><li>Tüm proje kodu, model ağırlıkları ve dokümantasyon, açık kaynak (MIT) lisansı ile bir GitHub deposunda paylaşılacaktır.</li><li>Proje metodolojisi (CBAM entegrasyonu, XAI) hakkında teknik blog yazıları paylaşılacaktır.</li></ul>
<b>Ekonomik/Ticari/Sosyal</b> (Ürün, Prototip, Patent, Faydalı Model, Üretim İzni, Çeşit Tescili, Spin-off/Start-up Şirket, Görsel/İşitsel Arşiv, Envanter/Veri Tabanı/Belgeleme Üretimi, Telif Konu Olan Eser, Medyada Yer Alma, Fuar, Proje Pazarı, Çalıştay, Eğitim vb. Bilimsel Etkinlik, Proje Sonuçlarını Kullanacak Kurum/Kuruluş, vb. diğer yaygın etkiler)	<ul style="list-style-type: none"><li>Geliştirilen interaktif dashboard (webcam demosu dahil), atık yönetimi firmalarına ve yerel belediyelere bir prototip sistem olarak sunulabilir.</li><li>Sistem, geri dönüşüm tesislerinde pilot uygulama potansiyeli taşımakta ve belediyelerle işbirliği zemini oluşturmaktadır.</li><li>Proje çıktılarının sosyal medyada paylaşılmasıyla atık yönetimi ve yapay zeka konusunda toplumsal farkındalığın artırılması hedeflenmektedir.</li><li>Geliştirilen sistem, üniversitelerin "Bilgisayarlı Görü" veya "Derin Öğrenme" derslerinde örnek bir uygulama (case study) olarak kullanılabilir.</li></ul>
<b>Araştırmacı Yetiştirilmesi ve Yeni Proje(ler) Oluşturma</b> (Yüksek Lisans/Doktora Tezi, Ulusal/Uluslararası Yeni Proje)	<ul style="list-style-type: none"><li>Proje, araştırmacının lisans bitirme projesi olarak sunulacaktır.</li><li>Projede edinilen XAI ve dikkat mekanizmaları deneyimi, araştırmacının akademik kariyer (yüksek lisans) başvurularında güçlü bir portföy oluşturacaktır.</li></ul>

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

**5. BÜTÇE TALEP ÇİZELGESİ**

Bütçe Türü	Talep Edilen Bütçe Miktarı (TL)	Talep Gerekçesi
Sarf Malzeme	2,000	<ul style="list-style-type: none"><li>Harici SSD (1TB): 1,500 TL (Büyük veri seti, model dosyaları, video kayıtları ve yedekleme için)</li><li>USB Flash Disk (128GB): 300 TL (Sunum ve demo aktarımı)</li><li>Kırtasiye: 200 TL (Rapor, poster baskı vb.)</li></ul>
Makina/Teçhizat (Demirbaş)	2,700	<ul style="list-style-type: none"><li>Yüksek Kaliteli Webcam (1080p, 60 FPS): 2,500 TL</li><li>Kablo ve Bağlantı Ekipmanları: 200 TL</li></ul>
Hizmet Alımı	4,300	<ul style="list-style-type: none"><li>Google Colab Pro+ (4 ay): 1,300 TL (Model eğitimi için A100 GPU erişimi)</li><li>Roboflow Pro (6 ay): 3,000 TL (Gelişmiş veri etiketleme ve artırma)</li></ul>
Ulaşım		
TOPLAM	9,000	

**NOT:** Bütçe talebiniz olması halinde hem bu tablonun hem de TÜBİTAK Yönetim Bilgi Sistemi (TYBS) başvuru ekranında karşınıza gelecek olan bütçe alanlarının doldurulması gerekmektedir. Yukardaki tabloda girilen bütçe kalemlerindeki rakamlar ile, TYBS başvuru ekranındaki rakamlar arasında farklılık olması halinde TYBS ekranındaki veriler dikkate alınır ve başvuru sonrasında değiştirilemez.

**6. BELİRTMEK İSTEDİĞİNİZ DİĞER KONULAR**

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

**7. EKLER**

**EK-1: KAYNAKLAR**

- [1] Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. World Bank Publications.
- [2] TÜİK (2023). Belediye Atık İstatistikleri, 2022. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr/>
- [3] IPCC (2019). Climate Change and Land: Special Report. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- [4] Hoang et al. (2022) "Deep Learning Applications in Solid Waste Management: A Systematic Review". IJACSA, Vol. 13, No. 3
- [5] Rahman et al. (2023) "A Comprehensive Survey of AI-Based Waste Segregation Approaches". IRJMETs
- [6] Gunning, D., & Aha, D. W. (2019). "DARPA's Explainable Artificial Intelligence (XAI) Program". AI Magazine, 40(2), 44-58.

- [7] Xia et al. (2021) "Application of Machine Learning Algorithms in Municipal Solid Waste Management: A Mini Review". Waste Management & Research
- [8] Aazam, M., et al. (2016). "Cloud-based smart waste management for smart cities". IEEE International Workshops on Foundations and Applications of Self Systems, 185-188.
- [9] Redmon, J., & Farhadi, A. (2018). "YOLOv3: An Incremental Improvement". arXiv preprint arXiv:1804.02767.
- [10] Jocher, G., Chaurasia, A., & Qiu, J. (2023). Ultralytics YOLOv8. <https://github.com/ultralytics/ultralytics>
- [11] Yang, M., & Thung, G. (2016). "Classification of trash for recyclability status". CS229 Project Report, Stanford University.
- [12] Proença, P. F., & Simões, P. (2020). "TACO: Trash Annotations in Context for Litter Detection". arXiv preprint arXiv:2003.06975.
- [13] Bashkirova, D., et al. (2022). "ZeroWaste Dataset: Towards Deformable Object Segmentation in Cluttered Scenes". IEEE/CVF CVPR, 21147-21157.
- [14] Kurz et al. (2023) "Enhancing Waste Recognition with Vision-Language Models". Waste Management
- [15] Roboflow (2024). Roboflow: Computer Vision Tools for Developers. <https://roboflow.com>
- [16] Ultralytics Team (2023) "Introducing Ultralytics YOLOv8". Ultralytics Blog
- [17] Wang, A., et al. (2024). "YOLOv10: Real-Time End-to-End Object Detection". arXiv preprint arXiv:2405.14458.
- [18] Selvaraju, R. R., et al. (2017). "Grad-CAM: Visual Explanations from Deep Networks via Gradient-Based Localization". IEEE ICCV, 618-626.
- [19] Gildenblat, J. (2021). PyTorch library for CAM methods. <https://github.com/jacobgil/pytorch-grad-cam>
- [20] Bobulski, J., & Kubanek, M. (2021). "Deep learning for plastic waste classification system". Applied Computational Intelligence and Soft Computing, 2021, Article ID 6626948.
- [21] Majchrowska, S., et al. (2022). "Deep learning-based waste detection in natural and urban environments". Waste Management, 138, 274-284.
- [22] Rahman et al. (2019) "Intelligent Waste Management System Using Deep Learning with IoT". Procedia Computer Science
- [23] Woo, S., Park, J., Lee, J. Y., & Kweon, I. S. (2018). "CBAM: Convolutional Block Attention Module". European Conference on Computer Vision (ECCV), 3-19.
- [24] Zhang et al. (2024) "An Improved YOLO-Based Waste Detection Model with CBAM". Computers, Materials & Continua
- [25] Getamesay et al. (2024) "Explainable AI in Biomedical Image Analysis (Grad-CAM Applications)". arXiv. Link (Genel XAI) veya Akhila et al. (2025) "Garbage Classification Using CNNs". SSRN.