

COMPUTER VISION AIDED FLARE STACK EMISSION MONITORING SYSTEM: A REAL-LIFE CASE STUDY

ALEYNA DEMİREZEN – BEKİR DURAN – GÖKHAN KASAPOĞLU
PROF. DR. MEHMET ÇAKMAKÇI – DOÇ. DR. FEHİMİ BURÇİN ÖZSOYDAN
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

ÖZET

Bu çalışma, endüstriyel tesislerde güvenliğin artırılması ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması amacıyla kullanılan flare stack sistemlerinin izlenmesine yönelik yapay zekâ tabanlı bütüncül bir çözüm önermektedir. Flare stack'ler, ani gaz tahliyeleri sırasında yanıcı maddelerin kontrollü şekilde yakılmasını sağlayarak hem sürecin güvenliğini temin etmekte hem de zararlı emisyonları azaltmaktadır. Ancak bu sistemlerin etkinliğinin korunabilmesi için sürekli ve doğru bir şekilde izlenmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda geliştirilen sistem, YOLOv11 algoritmasıyla eğitilmiş model aracılığıyla alevin ve dumanın gerçek zamanlı olarak izlenmesini, yanma verimliliğinin değerlendirilmesini ve olası çevresel risklerin erken tespit edilmesini mümkün kılmaktadır. Model eğitimi, açık kaynaklı veri setleri kullanılarak gerçekleştirilmiş; farklı zaman, ortam ve görüntü koşulları altında test edilerek sistemin değişken sahalarda duyarlı ve kararlı biçimde çalışması sağlanmıştır. SOCAR Türkiye'nin Aliğa Yarımadası'ndaki entegre üretim tesislerinde gerçekleştirilen uygulama, sistemin yalnızca deneysel ortamda değil, gerçek endüstriyel koşullarda da etkili olduğunu ortaya koymuştur. Kullanıcı dostu ve esnek bir arayüz ile desteklenen sistem, operatörler tarafından kolayca kullanılabilir şekilde tasarlanmış, böylece sahaya entegrasyonu mümkün hâle getirilmiştir. Bu yaklaşım, yalnızca teknik bir çözüm sunmakla kalmayıp aynı zamanda çevre koruma, sürdürülebilir üretim ve dijital dönüşüm hedeflerine katkı sağlamaktadır.

GİRİŞ

SOCAR Türkiye, Aliğa Yarımadası'nda kurmuş olduğu entegre üretim yapısıyla enerji ve petrokimya sektörlerinde sürdürülebilir bir sanayi modeli oluşturmaktadır. Üretim süreci, ham petrolün işlenmesiyle başlamaktadır. Bu işlem sonucunda jet yakıtı, LPG, nafta gibi temel ürünler elde edilmekte, ara ürünler ise birbirini takip eden tesislerde hammadde olarak değerlendirilmektedir. Sürecin sonunda ortaya çıkan ve artık kullanımı mümkün olmayan atık maddeler, çevreye zararlı özellik taşıdığından güvenli bir şekilde bertaraf edilmek zorundadır. Bu bertaraf işlemi, flare stack adı verilen alev bacaları aracılığıyla gerçekleştirilmektedir.

Flare stack sistemlerinde bu zararlı gazların kontrollü biçimde yakılması hedeflenmekte ve böylece emisyon kontrolü, iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılması, insan ve çevre sağlığının korunması gibi birçok alanda olumlu sonuçlar elde edilmektedir. Ancak bu sistemlerin etkili çalışabilmesi için tam yanmanın sağlanması gerekmektedir. Tam yanma gerçekleşmediğinde, sistem gri duman çıkarak atmosfere zararlı gaz salınımına neden olmaktadır. Bu durum, sürdürülebilirlik hedeflerini tehdit eden önemli bir sorundur.

Yürütülen çalışmada, tam yanmanın sağlanmadığı durumlarda operatörlerin bu durumu geç fark etmesi halinde vanaların kapanmasında gecikme yaşandığı ve bunun sonucunda zararlı gaz yayılım süresinin arttığı tespit edilmiştir. Bu nedenle operatörlerin sürekli olarak flare stackleri izlemek zorunda kalmaları iş gücü verimliliğini düşürmekte, uzun süreli izleme işe sağlık açısından riskler oluşturmaktadır. Bu bağlamda çalışmanın temel amacı, operatörün müdahale süresini kısaltmak, manuel izlemeden kaynaklı sağlık ve verimlilik sorunlarını azaltmak ve yanma sürecinin kontrolünü daha etkili hâle getirerek çevresel ve ekonomik kayıpları minimize etmektir.

KISIT ve KOŞULLAR

- ❖ Ortam Koşullarına Bağlı Görsel Kısıtlar
- ❖ Kamera ve Donanım Temelli Kısıtlar
- ❖ Algoritma ve Yapay Zekâ Tabanlı Kısıtlar
- ❖ Operasyonel ve Güvenlik Kaynaklı Kısıtlar

IoU ve mAP50 NOTASYONU

Bir nesne tahmininin doğru kabul edilebilmesi için tahmin edilen sınıf ile gerçek sınıfın eşleşmesi ve tahmin kutusu ile gerçek kutu arasındaki IoU değerinin en az 0,50 olması gerekmektedir.

$$IoU = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}$$

A tahmin edilen sınırlayıcı kutu (bounding box), B ise gerçek sınırlayıcı kutuyu temsil etmektedir.

Bir sınıfa ait tespitlerin doğruluk (precision) ve geri çağırma (recall) değerleri

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

TP: Doğru pozitif sayısı (gerçek nesne doğru şekilde tespit edilmiştir),
FP: Yanlış pozitif sayısı (yanlış yere nesne algılama yapılmıştır),
FN: Atlanan (algılanamayan) gerçek nesne sayısıdır.

Belirli sınıfa ait ortalama doğruluk (AP), o sınıfa ait tüm precision-recall çiftleri kullanılarak oluşturulan doğruluk-geri çağırma (P-R) eğrisinin altında kalan alandır.

$$AP_{IoU=0.50}^{(i)} = \int_0^1 P_i(R) dR$$

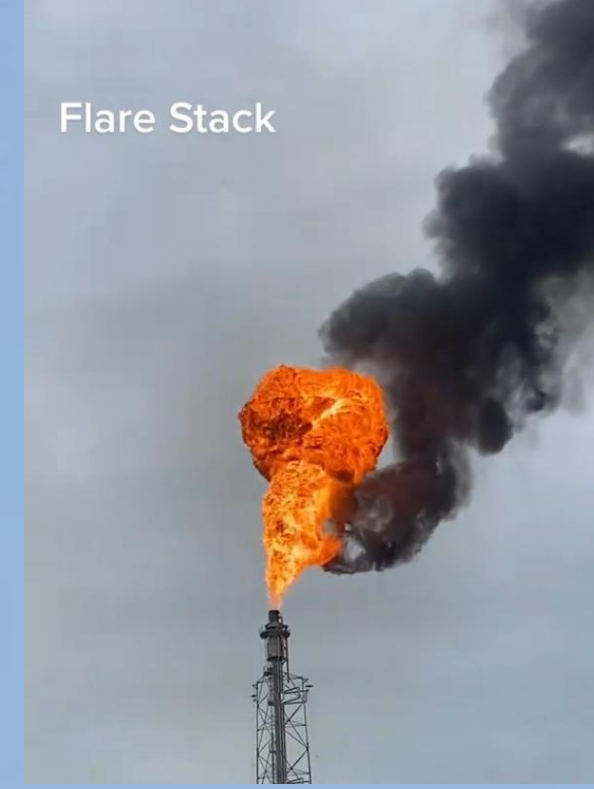
$P_i(R)$, i. sınıfa ait precision fonksiyonudur.

Tüm sınıflar için hesaplanan AP değerlerinin ortalaması;

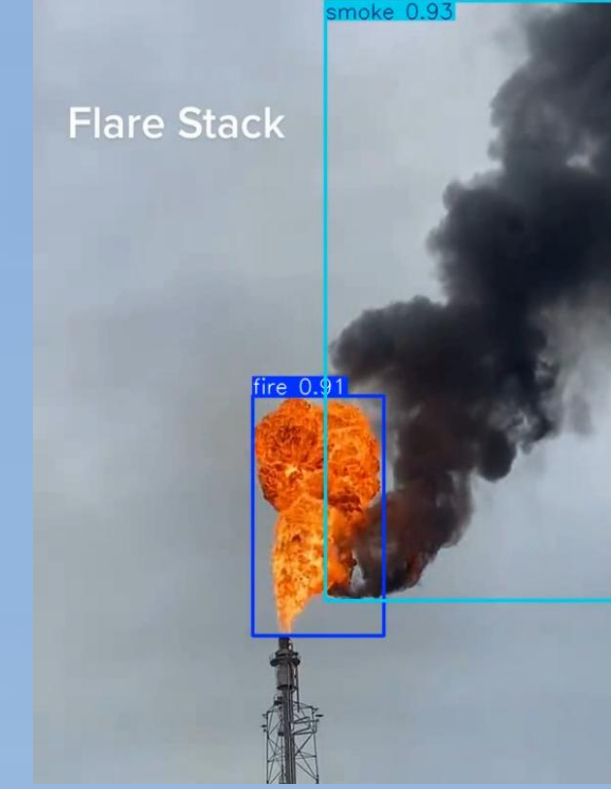
$$mAP50 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N AP_{IoU=0.50}^{(i)}$$

N, toplam sınıf sayısını göstermektedir.

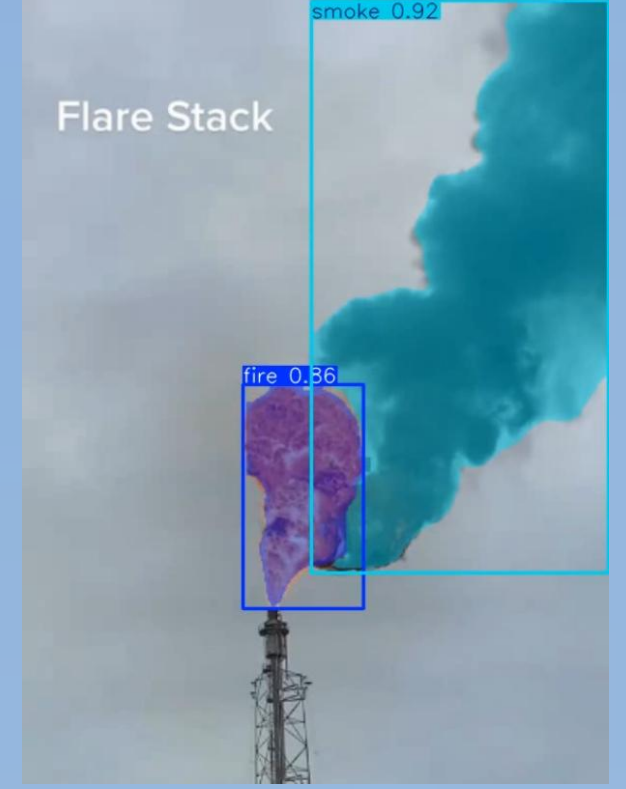
YOLO MODELLERİ



Orijinal Görüntü

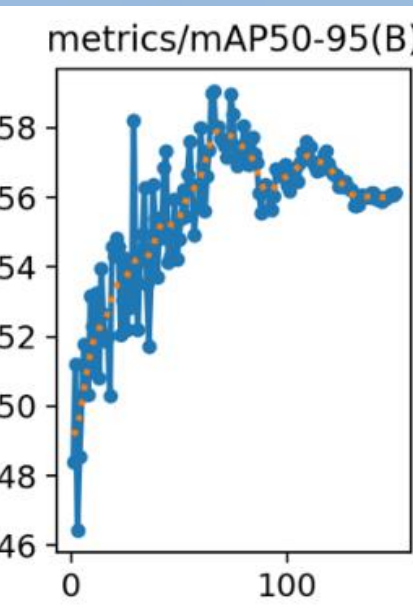
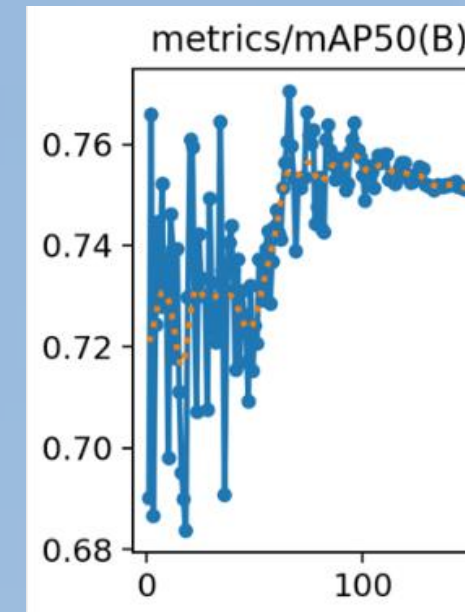


Nesne Algılama
(Object Detection)

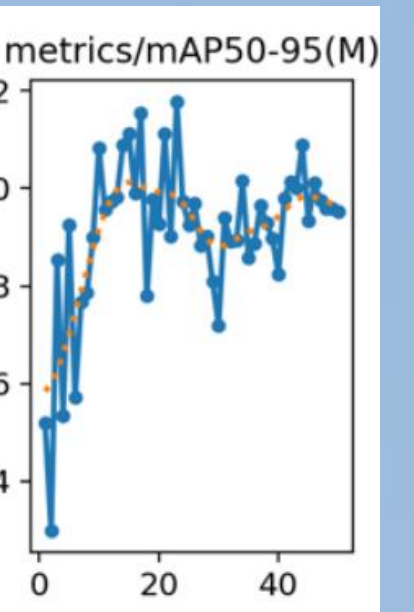
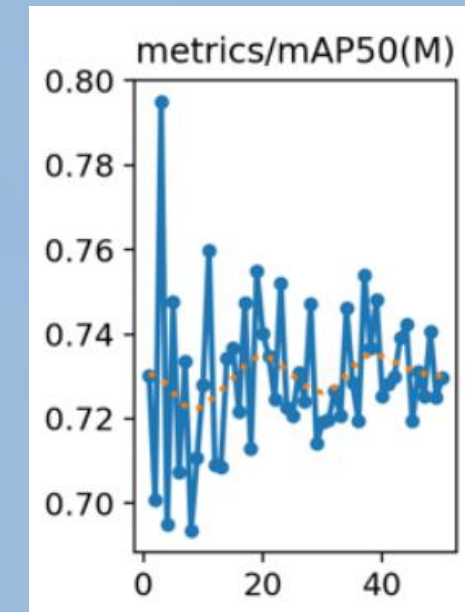


Görüntü Segmentasyonu
(Image Segmentation)

EĞİTİM SONUÇLARI ANALİZİ

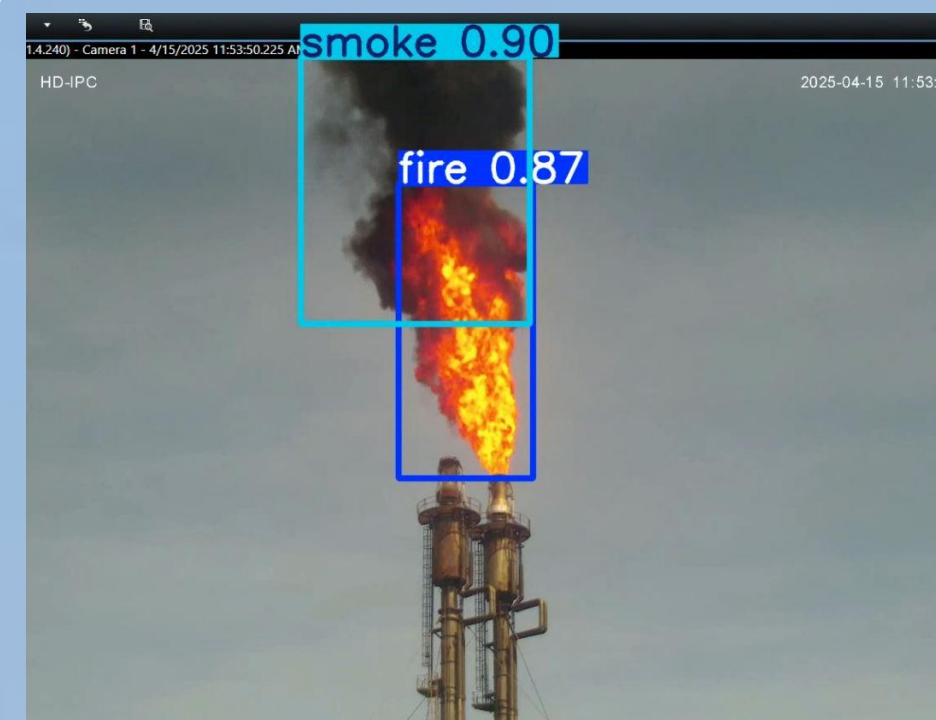


Detection

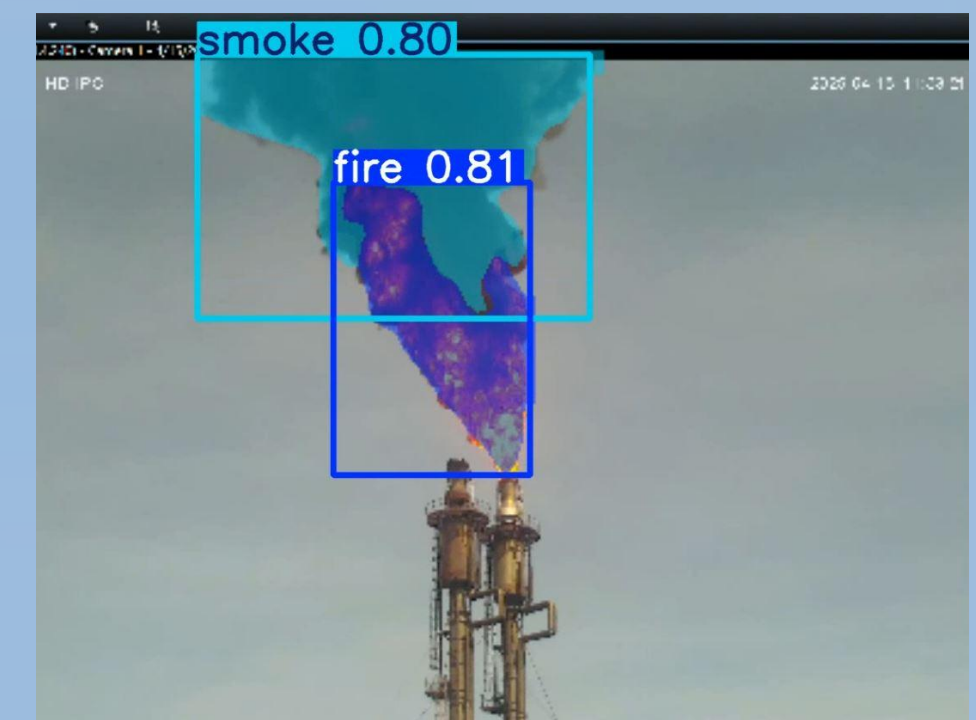


Segmentation

TAHMİN ÇIKTILARININ YORUMLANMASI



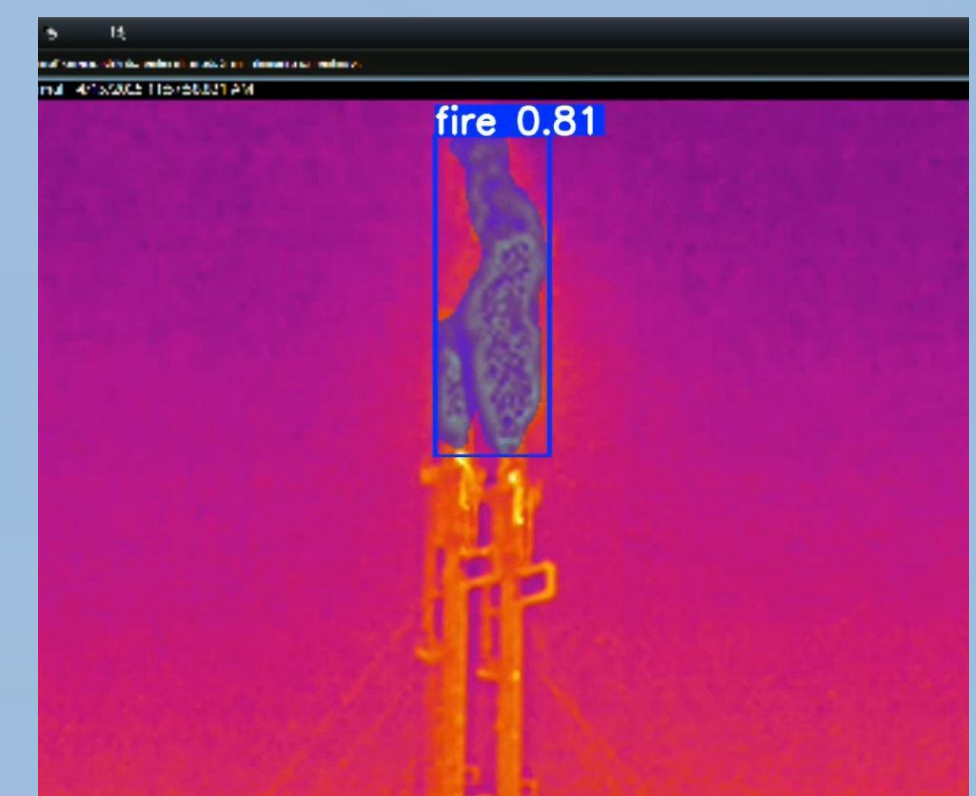
Gündüz Videosu için Detection Modeli Çıktısı



Gündüz Videosu için Segmantation Modeli Çıktısı



Termal Videosu için Detection Modeli Çıktısı



Termal Videosu için Segmantation Modeli Çıktısı

TEŞEKKÜRLER

Danışmanlarımız Prof. Dr. Mehmet Çakmakçı ve Doç. Dr. Fehmi Burçin Özsoydan'a verdikleri değerli destek ve katkılarından dolayı teşekkür ederiz. Ayrıca, yürütülen akademik çalışmamıza sağladıkları katkı ve iş birliği için SOCAR Türkiye'ye teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKÇA

<https://ultralytics.com>