

4m DAG400 Teleskobu için Pseudo-Synthetic Tabanlı Dijital İkiz Modeli ile Adaptif Optik Kalibrasyonu

Cahit YEŞİLYAPRAK, Derya ÖZTÜRK ÇETNİ, Elif TEMEL¹

¹ Türkiye Ulusal Gözlemevleri, DAG, Erzurum, 25240, Türkiye

ÖZET

Bu çalışma, DAG400 teleskobunda atmosferik türbülans, hizalama hataları ve mekanik esnemelerin dalga cephesi üzerindeki bozucu etkilerini otonom olarak gidermek amacıyla "sözde-potansiyel" tabanlı kapsamlı bir Dijital İkiz modeli önermektedir. Geleneksel kalibrasyonların zaman kaybını ve standart simülasyonların yetersizliğini aşmak için bu mimari, Karakaya Tepesi'nin yerel telemetri verilerini derin öğrenme ile bir gizli uzaya kodlayarak dinamik faz ekranları oluşturmayı ve simülasyona eklemeyi hedeflemektedir. Dijital İkizi beslemek için ZOS-API köprüsüyle Python ve Zemax OpticStudio arasında kurulan simülasyon ortamı, optik hataları sanal bir enerji kuyusunda modeller [1]. Henüz geliştirme aşamasındaki bu teorik modelin nihai amacı; elde edilen optimum konfigürasyonun Sözde-Sentetik Etkileşim Matrisine (PSIM) dönüştürülüp Sim2Real yaklaşımıyla doğrudan TROIA kontrolcüsüne yüklenmesi ve teleskobun donanımsal risk almadan "koronagraf sınırında" tutulmasıdır [2].



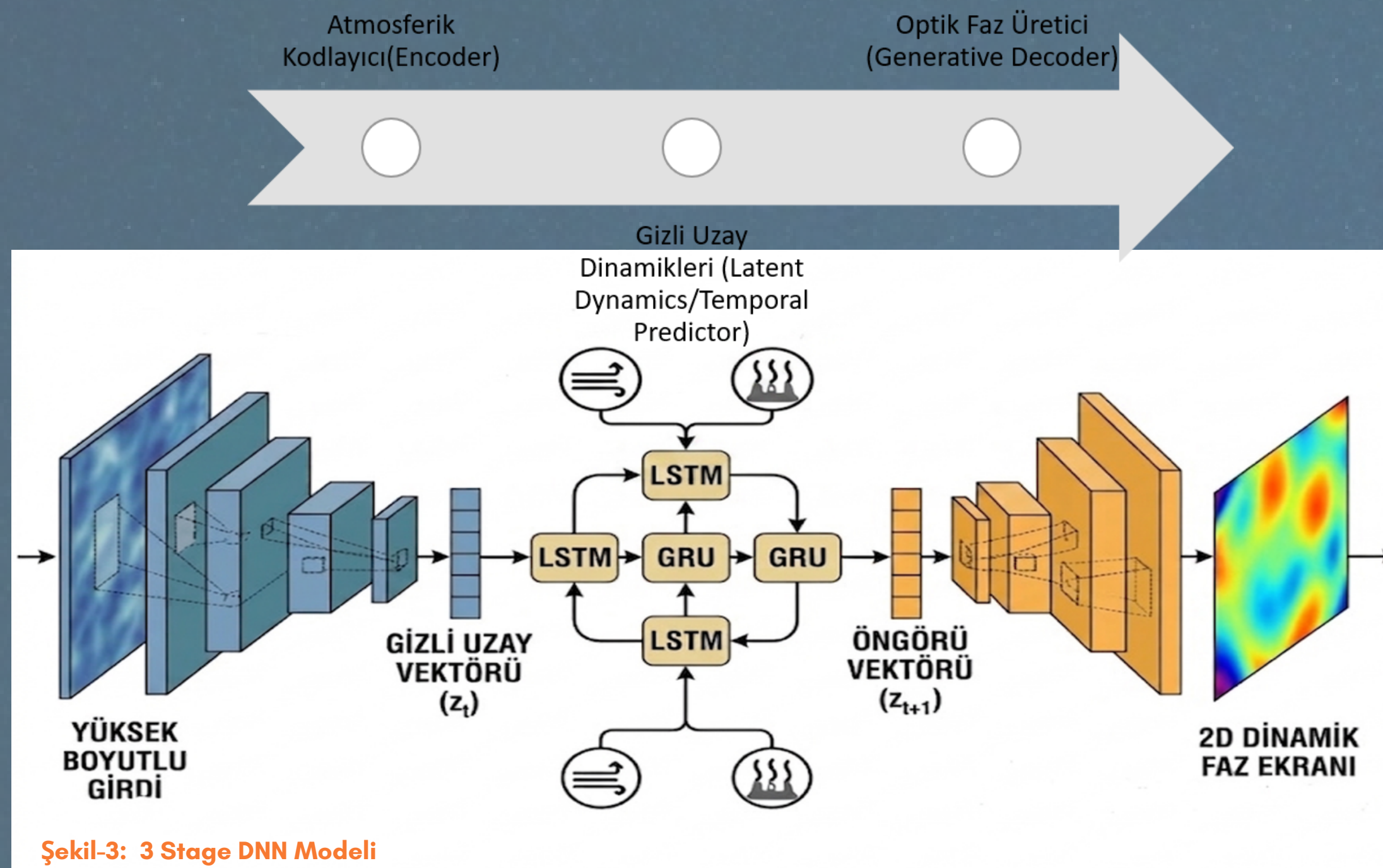
Şekil-1: DAG400 Simülasyonu

1. GİRİŞ

DAG400 teleskobunun yüksek çözünürlüklü gözlem kapasitesi, atmosferik bozunumlar ve anlık yapısal sapmalarla sürekli olarak sınırlanmaktadır. Geleneksel yöntemlerin gökyüzü zamanı kaybını ve statik simülasyonların kısıtlılıklarını ortadan kaldırmak adına otonom bir kalibrasyon mimarisi gerekmektedir. Geliştirilmesi planlanan bu model aynı zamanda; çevresel faktörlere bağlı termal genleşmeleri haritalamak, rüzgar yükü altındaki yapısal titreşimleri (wobbling) önceden öngörmek, mekanik esneme ve donanım yorulmalarını tespit ederek bakım stratejileri oluşturmak ve yeni optik enstrümanların belirli yapısal katmanlara entegrasyonunu donanımsal risk almadan sanal ortamda test etmek amacıyla kurgulanmıştır.

3. METODOLOJİ-İLK ÇALIŞMALAR

Kontrolcü geliştirmek için, kontrol sisteminin test edileceği çevresel koşulların gerçekçi biçimde dijitalleştirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, dijital ikiz içerisinde kontrolcüyü bozabilecek atmosferik türbülansın zamansal ve uzaysal dinamiklerini doğru şekilde modellemek kritik bir adımdır.



Şekil-3: 3 Stage DNN Modeli

Klasik türbülans modellerine alternatif olarak, DNN tabanlı bir faz ekranı üretim yaklaşımı önerilmektedir. Yaklaşım, literatürde **Latent Space Dynamics** olarak bilinen **Encoder-Dynamics-Decoder** mimarisine dayanmaktadır. Encoder, Erzurum/Karakaya Tepesi gibi gerçek gözlem koşullarından elde edilen meteorolojik verileri düşük boyutlu bir gizli uzaya sıkıştırır. Latent Dynamics katmanı, türbülansın zamansal evrimini bu gizli uzayda öğrenerek ardışık atmosferik durumları tahmin eder. Son olarak Decoder, tahmin edilen durumu yüksek çözünürlüklü 2B faz ekranlarına dönüştürerek DAGOS dijital ikizinin optik yayılım ve kontrol simülasyonlarında kullanılabilir hale getirir.

2. SİSTEM MİMARİSİ

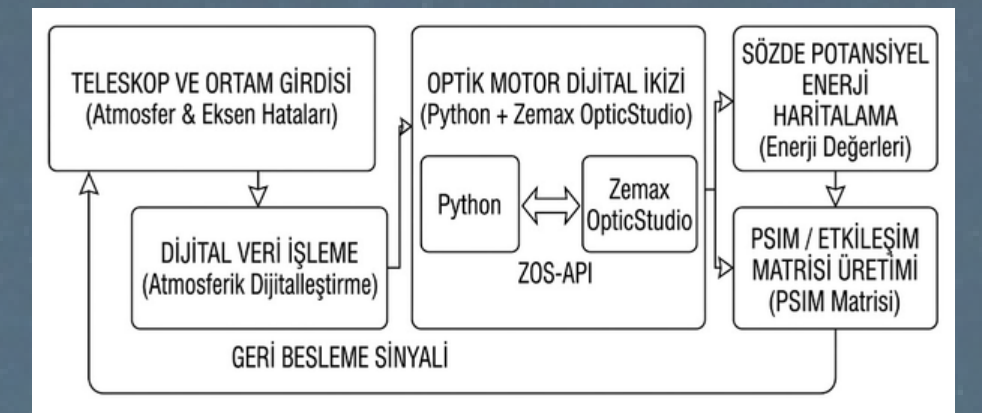
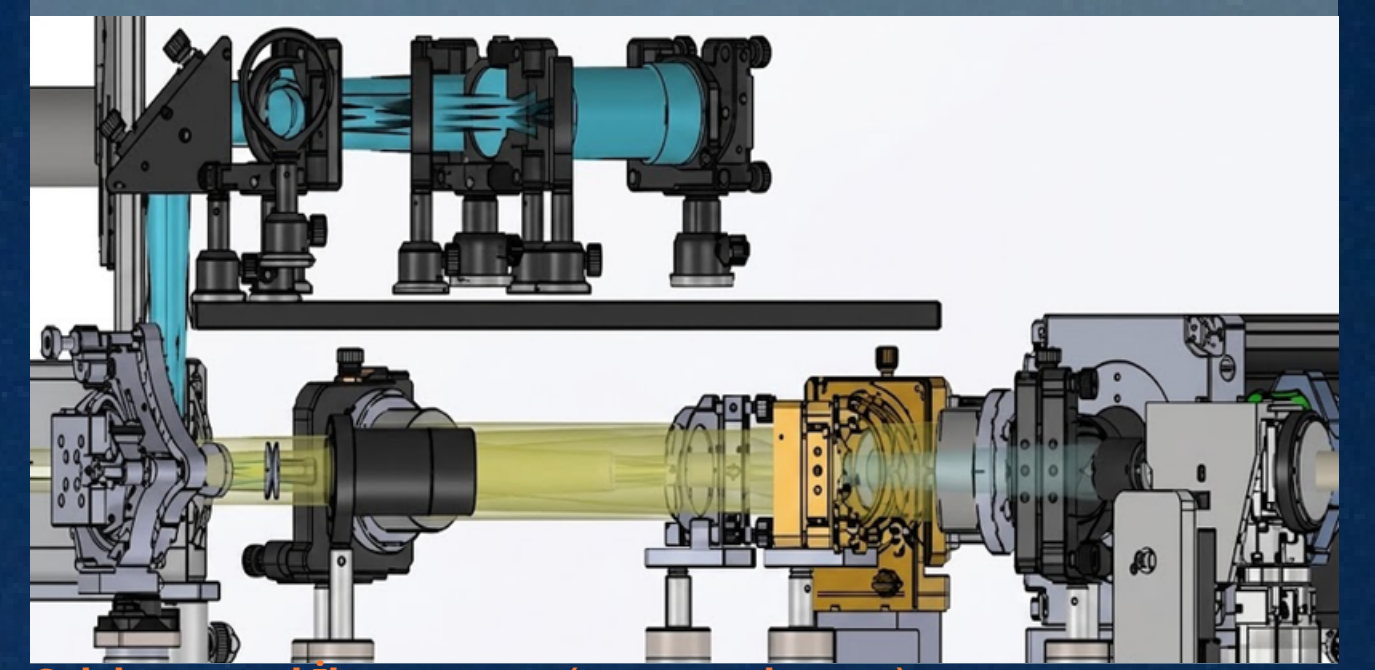


Table-1: Dijital İkiz Mimarisi

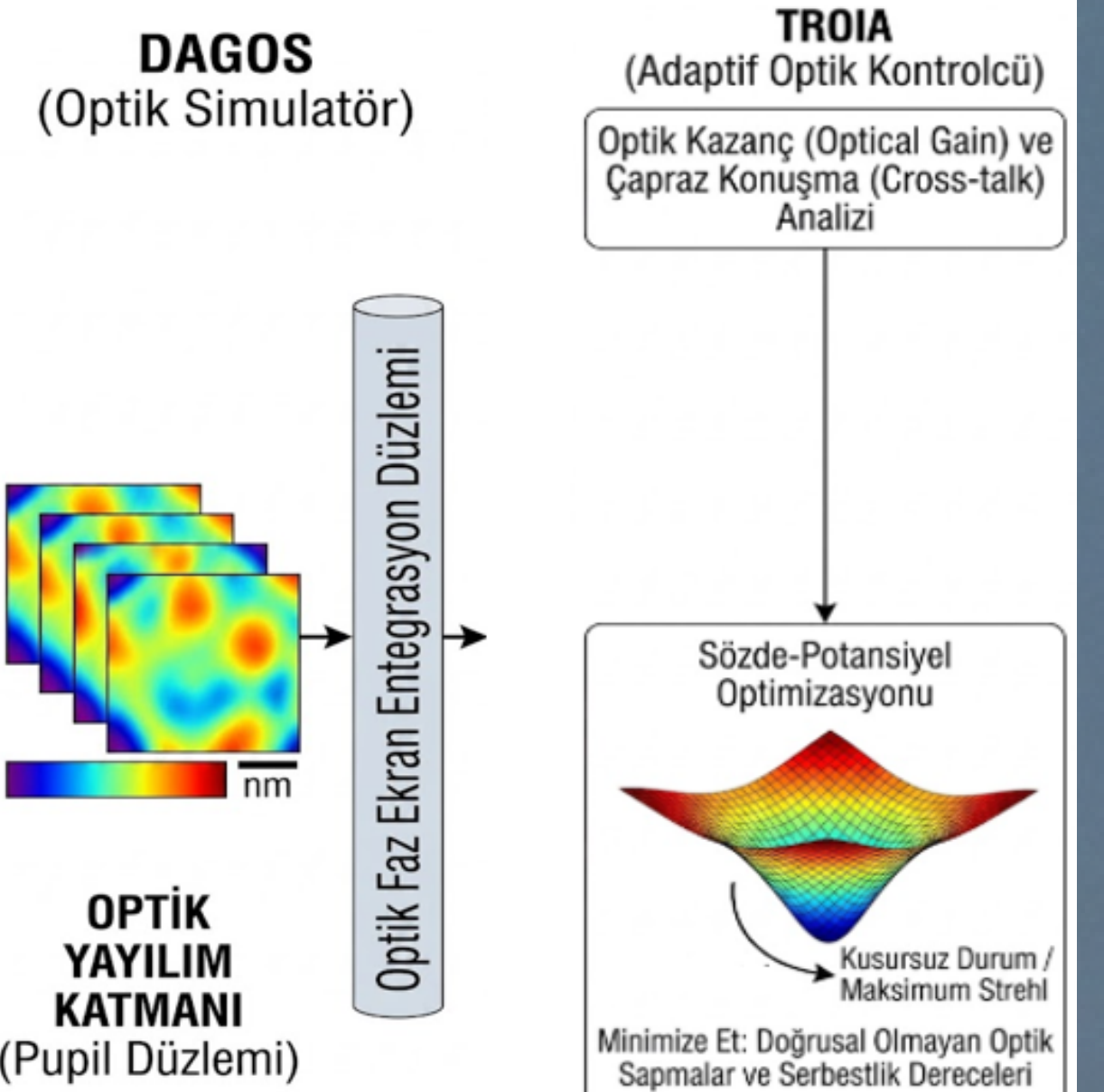
01 ZOS-API Köprüsü ve Dinamik Faz Ekranları: Python-Zemax entegrasyonu ile telemetri tabanlı dinamik simülasyon

02 Sözde-Potansiyel Optimizasyonu ve PSIM Sim2Real: Enerji kuyusu minimizasyonu ile otonom kalibrasyon ve aktarım



Şekil-2: Dijital İkiz Mimarisi (Rüzgar vd., 2025)

4. GELECEK ÇALIŞMALAR



REFERANSLAR

- [1] Zhang, M., Jia, P., Li, Z., Xiang, W., Lv, J., & Sun, R. Perception of misalignment states for sky survey telescopes with the digital twin and deep neural networks.
- [2] Vanberg, P.-O., Orban de Xivry, G., Abbel, O., & Louppe, G. (2019). Machine learning for image-based wavefront sensing. Machine Learning and the Physical Sciences Workshop, 35th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS), Vancouver, Canada, 14 Aralık 2019.
- [3] Ruzgar, K., Öztürk Çetini, D., Yeşilyaprak, C., & Güçsoy, B. B. (2025). Design and analysis of simulator for eastern anatolia observatory (EAO). Telescopium: Experimental Astronomy.

İLETİŞİM

✉ elif@trgozlemevleri.gov.tr