

Mega-Takımyıldızlar Çağında Yer Tabanlı Gözlemsel Astronomi: Etkiler ve Çözüm Yaklaşımları

RECEP BALBAY, SEDA AYDIN
TÜBİTAK UZAY TEKNOLOJİLERİ ARAŞTIRMA ENSTİTÜSÜ

ÖZET

Mega-takımyıldızlar; küresel iletişim ve veri aktarımı sağlamak amacıyla Alçak Dünya Yörüngesi'nde (LEO) koordineli olarak çalışan, yüzlerce ile onbinlerce uydudan oluşan devasa ağlardır (örn. Starlink, Kuiper). Bu uydular sayısının sürekli artışı, modern optik ve zaman-bağı (time-domain) astronomiyi tehdit etmektedir. Vera C. Rubin Gözlemevi gibi geniş alan tarama sistemleri, tehlikeli asteroit keşiflerinin kararlık enerjisi araştırmalarına kadar geniş bir yelpazede veri kaybı riskiyle karşı karşıyadır.

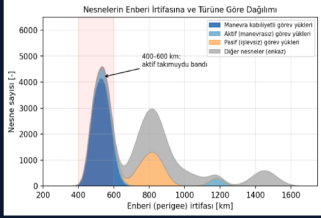
Sadece yer tabanlı teleskoplar değil; Hubble Uzay Teleskopu (HST) gibi LEO uzay teleskoplarında da kontaminasyon oranı %2,7'den (2002) %5,9'a (2021) yükselmiştir.

Gelecek Tehditler: Yörüngesel yapıya zeka veri merkezleri (Starcloud, Blue Origin Project Sunrise) ve istek üzerine güneş ışığı yansıtan yörüngesel aydınlatma sistemleri (Reflect Orbital).

Anahtar Kelimeler: Mega-Takımyıldızlar, LEO, SSA, TLE, Veri Kontaminasyonu, Gözlemsel Astronomi

MODELLEMELER

Kataloglanan Nesne: ~44.900 | **Aktif Görev Yüklü:** ~14.200 (ESA 2026 Raporu).
Kirik İrtila Bandı: Aktif uydular özellikle 400-600 km irtifa aralığında kümelenmektedir. Parçaların enkazları ve kontrolsüz artış, gözlemcilerin zincirleme reaksiyona düşmesine, Kesirli Saniyede ışığına yataklarını göbmetmektedir.



GELECEK PROJEKSİYONLARI

FCG ve ITU resmi başvurusu temel alınan projeksiyonlarda, 2030'ta kontaminasyon riski %54,3'ten, 2050'de ise %98,9'a ulaşmaktadır. Yüksek LEO kabuklarındaki artış nedeniyle gece yansı saatlerinde dahi tamamen kararlık gözlem pencereleri daralmaktadır. Aktif uydular sayısının 40.000'i aşması durumunda otomatik kaçınma algoritmaları parçaları enkazı uyarıya geçirecek ve yer kayımlı önlemler pratik olarak imkansızlaşacaktır. Bu durum, gelecekte uzun poz süreli tarama gözlemleri açısından operasyonel bir sınırlayıcı faktöre dönüşecektir.

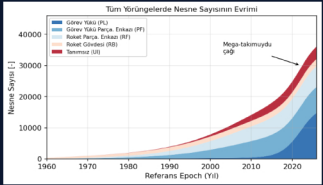
Tablo 1: Olası mega-takımyıldız nesne sayılarında göre 60 saniyelik standart bir derin uzay gözlemi için kontaminasyon (görünür ve kayıtlı kontaminasyon) olasılıkları.

Senaryo	Tahmini Aktif LEO Uydular Sayısı	Uydu Enkazları Anlık Maksimum Uydular Sayısı	60 sn. Standart Derin Uzay Gözlemi Kontaminasyon Oran (%)
Güncel Durum	~13.000	~200	%28,3
2030 Projeksiyonu	~35.000	~470	%54,3
2040 Projeksiyonu	~60.000	~1.200	%94,5
2050 Projeksiyonu	~200.000	~2.700	%98,9
En Kötü Senaryo	~600.000	~8.000	>%99,9

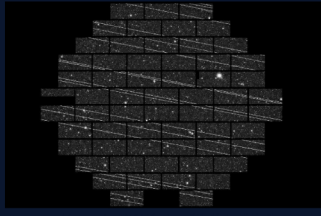
* %100 değer, Aktif nesnelerin 100% aktif, enkazların 100% aktif ve 100% aktif nesnelerin 100% aktif olduğunu varsayar. 60 saniyelik standart bir derin uzay gözlemi için kontaminasyon (görünür ve kayıtlı kontaminasyon) olasılıkları.

YÖRÜNGESEL YOĞUNLUK

ESA 2026 Uydular Raporu verilerine göre yörüngedeki nesne popülasyonu 2015 sonrasında mega-takımyıldızlara devreye girmesiyle ivmelenmiştir. Özellikle aktif görev yükü (payload) kategorisindeki keskin yükseliş, yörüngesel kirliliğin birincil kaynağını oluşturmaktadır.

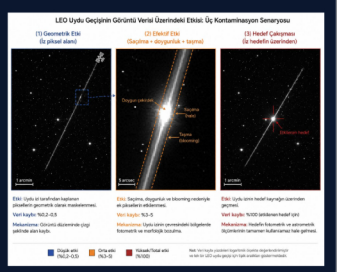


GÖZLEMLERE ETKİLERİ



Blanco Aktif Teleskop (CTIO/NOIRLab) görüntüsünde Starlink uydularından kaynaklanan 19 paralel iz. Doğrudan ve pikseller arası sinyal taşınması (blooming) izlenmesinde astronomik verileri de kullanılamaz hale getirmektedir.

GÖRÜNTÜ KONTAMİNASYONU

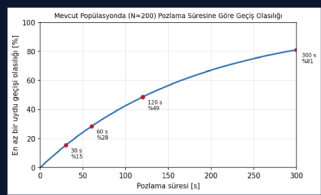


ÇÖZÜM STRATEJİLERİ

- SSA Destekli Gözlem Planlama:** Yüksek hassasiyetli yörünge verileriyle (OEM) alacakaralıkta temiz bölgelere yönelim ve donanımsal deklansör kapatma.
- Yazılım ve Yapay Zeka:** CNN (Evrişimli Sinir Ağları) ve Hough Dönüşümü ile uyduların tespiti edip maskeleme (Fotometrik veri geri getiremez, görsel bütünlük kurtarılabılır).
- Derin Uzay Astronomisi:** Artan LEO kirliliğine karşı, Milli Uzay Teleskop / Gözlem Platformlarının projelerinin hayata geçirilmesi. Ulaştırası İhtiyaçları ile deneysel ve/veya uzay kalifikasyonu testlerine hazır payload'ların yerli elektro-optik-mekanik tasarımlarla ve imkanlarla üretilecek platforma entegrasyonu.

POZLAMA VE RİSK ANALİZİ

Poisson modeli sonuçlarına göre pozlama süresi arttıkça en az bir uydunun gözlem riski katlanmaktadır. 30 sn pozlamada %15 olan risk, 60 sn'de %28,3'e, 300 sn (5 dk) pozlamada ise ~%80 seviyesine çıkmaktadır.



SONUÇ VE ÖNERİLER

- 60 saniyelik bir derin uzay pozlamasının kontamine olma riski günümüzde %28,3 iken, 2050 yılı projeksiyonlarında bu oran %98,9'a yükselmektedir. LEO uzay teleskopları da üst irtifa geçişlerinde etkilendiğinden dolayı Yakın Yörüngeye çıkmak artık tek başına çözüm sunmamaktadır.
- Milli Uzay Programı (MUP) çerçevesinde gelecekte değerlendirilebilecek olası bir Milli Uzay Teleskopu misyonunun ivmiledikilerinde gündeme alınması, GEO / L2 Lagrange noktası gibi yörüngelere konumlandırılması stratejik önem taşımaktadır.
- ITU, UN COPUOS ve uluslararası uzay ajansları "Dark and Quiet Skies" ilkeleri doğrultusunda bağlayıcı parlaklık ve yörünge yoğunluk kısıtlamaları getirilmelidir.