

Muhammed Bekir Bilginer¹, Burak Uras¹, Samet Koç¹, Serhat Kurnaz¹, Elif Nazlı Çiftçi¹, Zeynep Sarıçamlık¹, Sıla Ülkü Keskinkılıç¹, Eda Burcu Yorulmaz¹, Engin Bahar¹, İbrahim Özavcı¹, Mesut Yılmaz¹, Hakan Volkan Şenavcı¹

¹Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 06100, Tandoğan, Ankara, Türkiye

GİRİŞ

EG Cephei, Algol türü yarı-ayrık bir örten çift yıldız sistemidir. Bu çalışmada, sistemin yörünge döneminde meydana gelen uzun dönemli ve çevrimsel değişimlerin karakteristiğini belirlemek ve olası fiziksel mekanizmaları aydınlatmak amacıyla Tutulma Zamanlaması Değişimi (ETV) analizi gerçekleştirilmiştir. Asırlık dönem artışı kütle aktarımı ile modellenmiş; çevrimsel modülasyon ise LiTE (3. Cisim) ve Lanza (2020) manyetik aktivite modelleri kapsamında Levenberg–Marquardt optimizasyonu ile analiz edilmiştir. Analizde kullanılan temel fiziksel parametreler Tablo 1'de özetlenmiştir.

VERİLER VE YÖNTEM

EG Cep sisteminin yörünge dönemi değişimini incelemek amacıyla O-C Gateway veri tabanından 821 adet yer tabanlı HJD minimum zamanı derlenmiştir. Bu verilere ek olarak, TESS uzay teleskobu fotometrik gözlemlerinden elde edilen ışık eğrileri Python programlama dili kullanılarak geliştirilen bir yazılım ile analiz edilerek 1846 adet yeni yüksek hassasiyetli minimum zamanı elde edildikten sonra BJD zaman dizileri HJD formatına dönüştürülmüştür.

EG Cep sisteminin O-C eğrisinin modellenmesi için Python ortamında Levenberg–Marquardt optimizasyon algoritmasına dayalı özel bir analiz kodu kullanılmıştır.

Parabolik Değişim (Kütle Aktarımı): O-C diyagramındaki asırlık artış, 2. dereceden polinom fiti ile modellenmiştir.

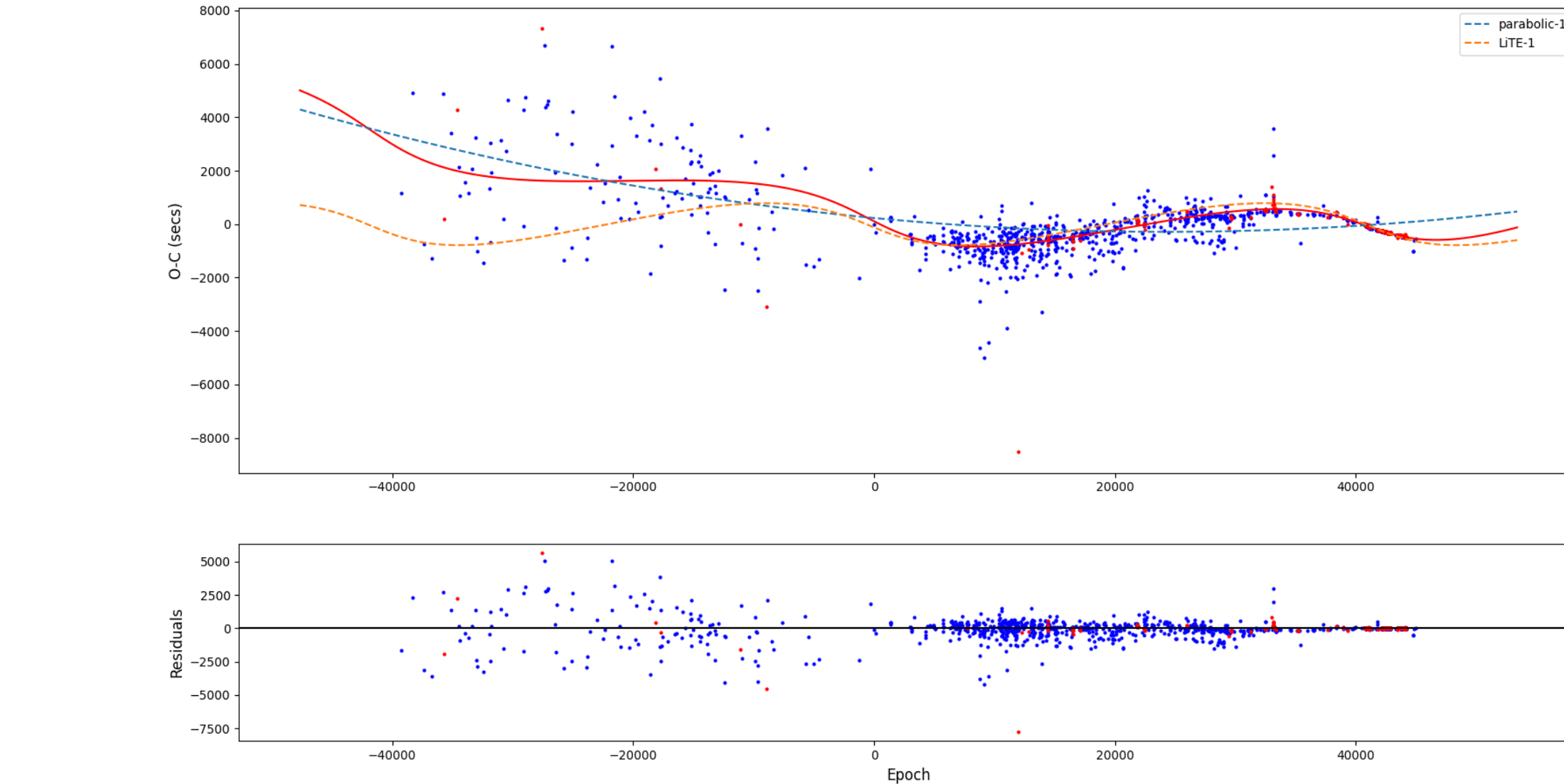
Çevrimsel Modülasyon: Çevrimsel yapı hem LiTE yaklaşımı hem de manyetik aktivite çevrimi kapsamında değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, çevrimsel değişimin asimetrik ve eksantrik karakteri üçüncü cisim kaynaklı bir yorumu daha güçlü kılmaktadır. Elde edilen bulgular, EG Cep sisteminde olası bir üçüncü bileşenin varlığını desteklemektedir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

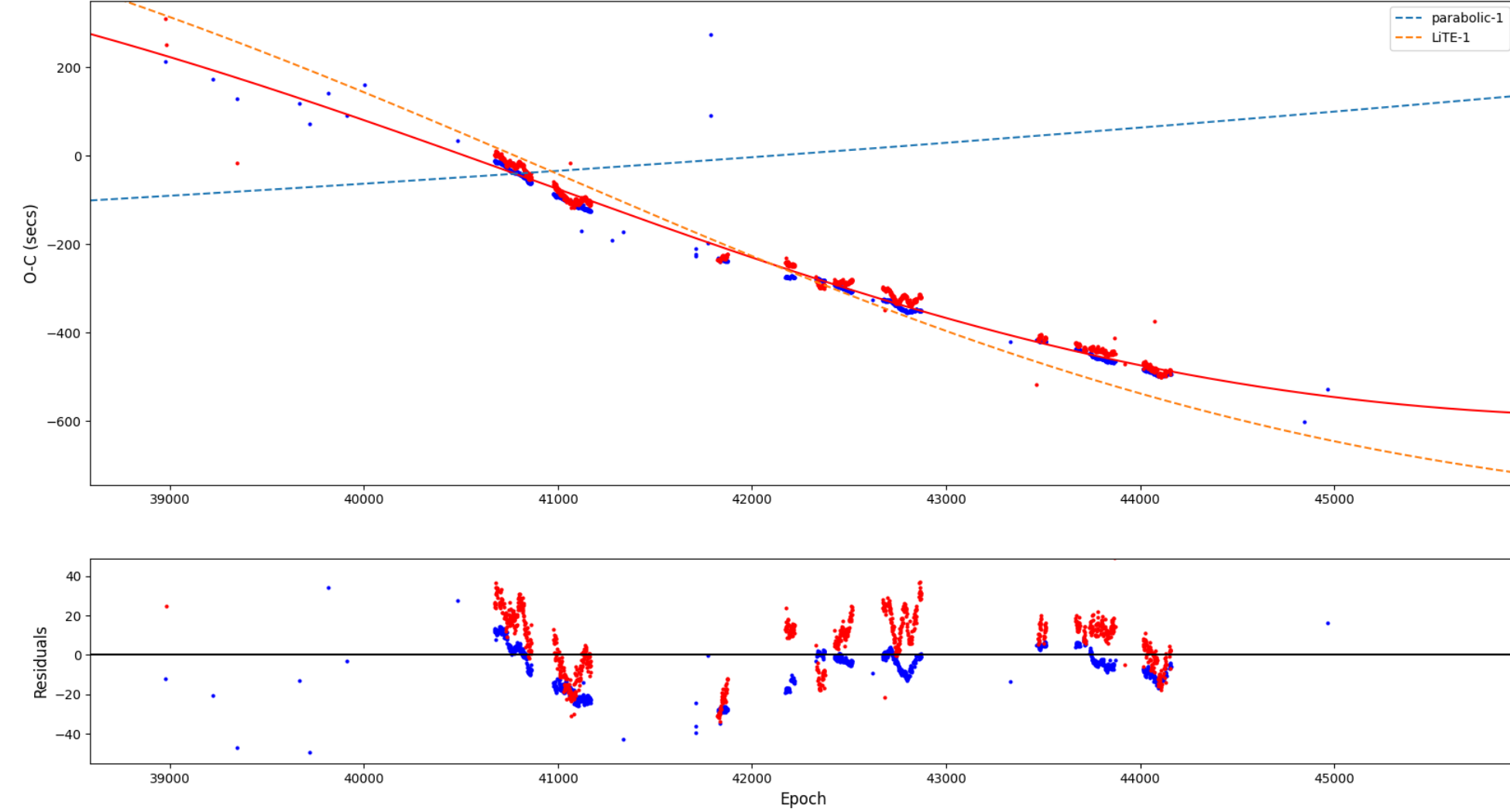
Kütle Aktarımı: Pozitif parabol katsayısı ($a_1 = 1.0265 \times 10^{-11}$ gün/çevrim²) yörünge döneminin $dP/dt = 1.38 \times 10^{-8}$ gün/yıl hızında arttığını göstermektedir. Bu durum ikincil bileşenden baş bileşene $\dot{M} = (1.22 \pm 0.24) \times 10^{-8} M_{\odot}/\text{yıl}$ kütle aktarımı ile tam uyumludur (Tablo 2).

LiTE ile Manyetik Model Karşılaştırması: LiTE modeli ($P_3 = 61.8$ yıl, $e_3 = 0.369$), TESS ve tarihsel minimumları ± 20 sn gibi son derece düşük artık saçılımıyla temsil etmektedir (Şekil 1,2). Lanza (2020) manyetik modeli teorik olarak mümkün görünse de ($\Delta E / E = 0.0216$), TESS verilerindeki yerel eğimi yakalayamamakta ve artıklarda ± 60 sn sistematik artık bırakmaktadır.

ŞEKİLLER VE TABLolar



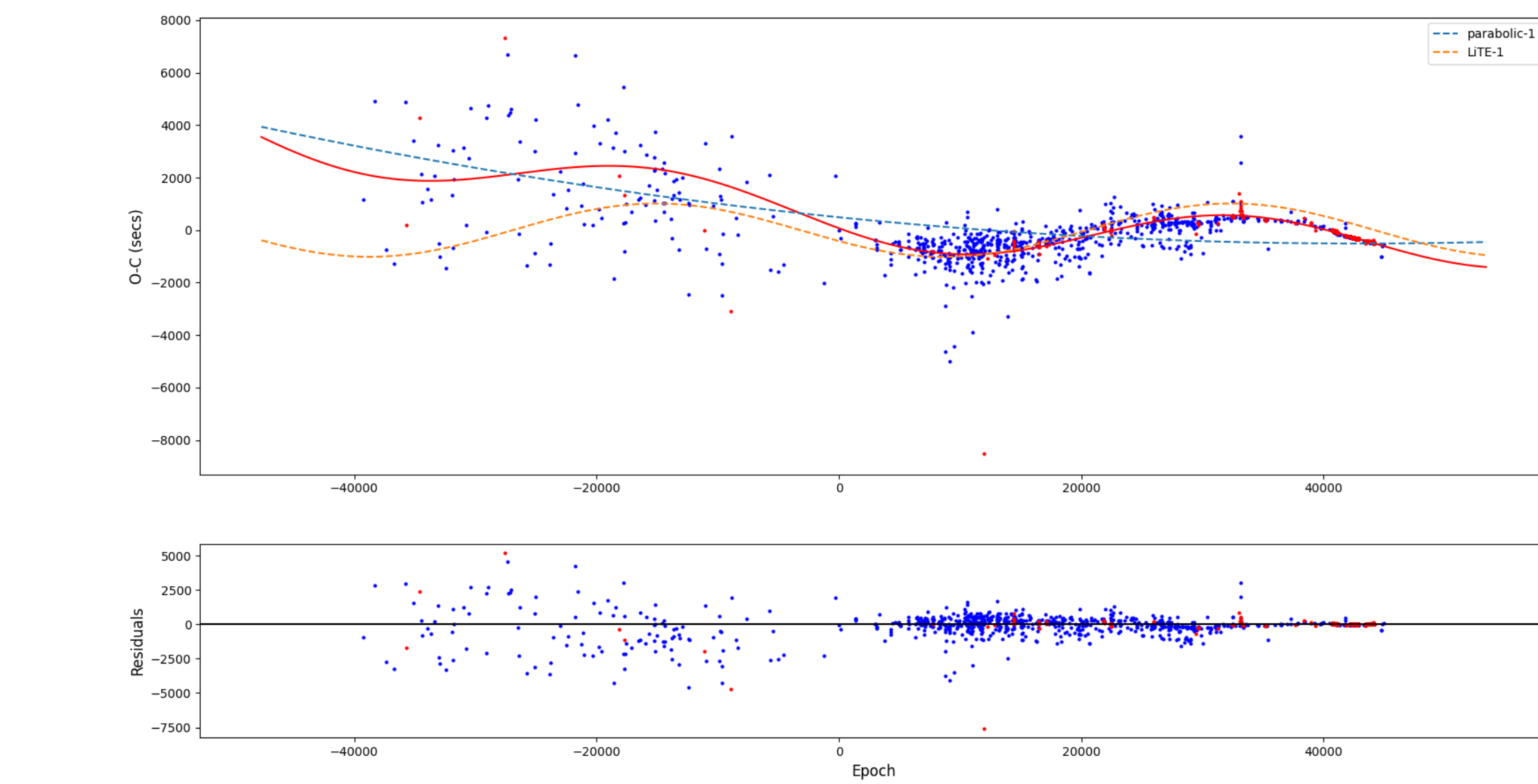
Şekil 1. EG Cep O-C diyagramı üzerine uygulanan Parabolik + LiTE model eğrisi (üst) ve model artıkları (alt).



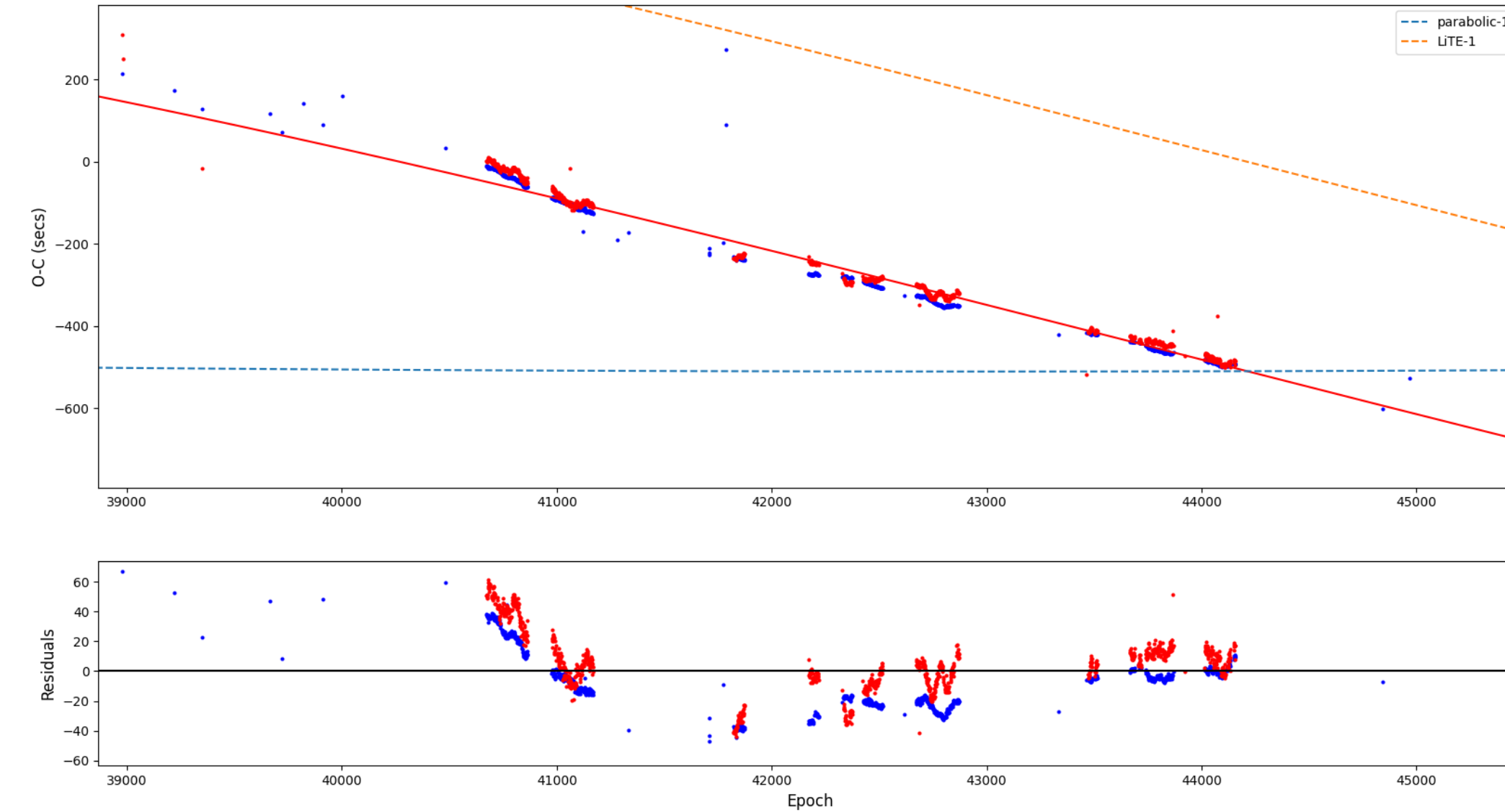
Şekil 2. TESS verilerinin yoğunlaştığı $E \approx 39000 - 45000$ çevrim aralığında LiTE model uyumunun ve artıklarının yakınlaştırılmış görünümü.

Parametre	Değer	Parametre	Değer
P(gün)	0.54462168	M1 ($M_{\odot}$)	1.65 ± 0.02
T_0 (HJD)	2440050.4551	M2 ($M_{\odot}$)	0.77 ± 0.01
i (°)	85.7°	R1 ($R_{\odot}$)	1.62 ± 0.01
q (M2/M1)	0.465 ± 0.005	R2 ($R_{\odot}$)	1.11 ± 0.01
Tayf Türü 1	A7V	L1 ($L_{\odot}$)	7.9 ± 0.2
Tayf Türü 2	K5V	L2 ($L_{\odot}$)	0.65 ± 0.05

Tablo 1. Literatürden Alınan ve Analizde Kullanılan Temel Parametreler



Şekil 3. O-C verilerine uygulanan Manyetik Aktivite (sinüzoidal modülasyon) model eğrisi (üst) ve model artıkları (alt).



Şekil 4. Manyetik aktivite modelinin TESS verileri üzerindeki yakınlaştırılmış uyumu ve artık analizi.

Parametre	LiTE Modeli	Manyetik Model (Lanza)
a1 (gün/çevrim ²)	$(1.0265 \pm 0.0652) \times 10^{-11}$	$(6.2621 \pm 1.4467) \times 10^{-12}$
b1 (gün/çevrim)	$(-4.9558 \pm 0.2445) \times 10^{-7}$	$(-5.3868 \pm 0.3200) \times 10^{-7}$
c1 (gün)	0.002669 ± 0.000446	0.005673 ± 0.000558
dP/dt (gün/yıl)	1.38×10^{-8}	—
$\dot{M}(M_{\odot}/\text{yıl})$	$(1.22 \pm 0.24) \times 10^{-8}$	—
P3 / Pmag (yıl)	61.8 ± 1.0	70.70
A (gün)	0.00909 ± 0.00017 (~786 sn)	0.01176 ± 0.00052 (~1016 sn)
e_3	0.369 ± 0.023	—
ω_3 (°)	188.22 ± 5.56	—
f(M3) ($M_{\odot}$)	0.00127 ± 0.00009	—
$M_3 (M_{\odot}, i' = 85.7^\circ)$	0.206 ± 0.008	—
a_3 (AU)	19.9 ± 0.4	—
$\Delta P/P$	—	2.86×10^{-6}
$\Delta E/E$	—	0.0216 (%2.16)
Saçılım / Davranış	± 20 s (Rastgele dağılım)	± 60 s (Sistematik kalıntı)

SONUÇLAR

Sistemde ikincil bileşenden baş bileşene $\dot{M} = (1.22 \pm 0.24) \times 10^{-8} M_{\odot}/\text{yıl}$ hızında süregelen kütle aktarımı doğrulanmıştır. Lanza (2020) manyetik aktivite modeli ile LiTE modelinin karşılaştırmalı analizi, çevrimsel değişimin LiTE mekanizmasıyla çok daha tutarlı açıklandığını kanıtlamıştır. Sistem etrafında dolanan $P_3 = 61.8$ yıl dönemli $M_3 = 0.206 M_{\odot}$ kütleli bir üçüncü bileşen tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Erdem, A., vd., 2005, *Astron. Nachr.*, 326, 332
- Irwin, J. B., 1952, *ApJ*, 116, 211
- Lanza, A. F., 2020, *MNRAS*, 491, 1820
- Zhu, L. Y., Qian, S. B., Liao, W. P., Zejda, M., & Mikulášek, Z., 2009, *PASJ*, 61, 529

İLETİŞİM: mbekirbilginer@gmail.com

Tablo 2. EG Cep sisteminin O-C diyagramına uygulanan Işık-Zaman Etkisi (LiTE / 3. Cisim) ve Manyetik Aktivite (Lanza 2020) modellerine ait optimizasyon parametreleri ve model karşılaştırması.