



RV Tri Sisteminin O–C Analizi: Yüksek Dış Merkezlikli Olası Bir İlave Bileşen



Çiftçi, Elif Nazlı^{1*}; Uras, Burak^{1,2}; Kurnaz, Serhat^{1,2}; Koç, Samet^{1,2}; Bilginer, Muhammed Bekir^{1,2}; Sarıçamlık, Zeynep^{1,2}; Keskinkılıç, Sıla Ülkü^{1,2}; Yorulmaz, Eda Burcu^{1,2}; Bahar, Engin^{1,2}; Yılmaz, Mesut^{1,2}; Özavcı, İbrahim^{1,2}; Şenavcı, Hakan Volkan^{1,2}

¹ Ankara Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezi (Kreiken Rasathanesi), İncek Bul., TR-06837, Ahlatlıbel, Ankara, Türkiye

²Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 06100, Tandoğan, Ankara, Türkiye

Giriş

Astrofizikte yıldızların yapıları, evrimsel süreçleri ve yörünge dinamiklerini anlamada örten çift yıldız sistemleri büyük önem arz etmektedir. Bu sistemlerin incelenmesinde başvurulan yöntemlerden biri olan dönem değişim analizi; gözlenen ile hesaplanan minimum zamanları arasındaki farkları inceleyerek bileşenler arası kütle aktarımı, çevrimsel manyetik aktivite veya doğrudan gözlemlenemeyen fakat sisteme kütleçekimsel olarak bağlı üçüncü bir cismin varlığı (LiTE) gibi değişimlerin tespit edilmesini sağlar.

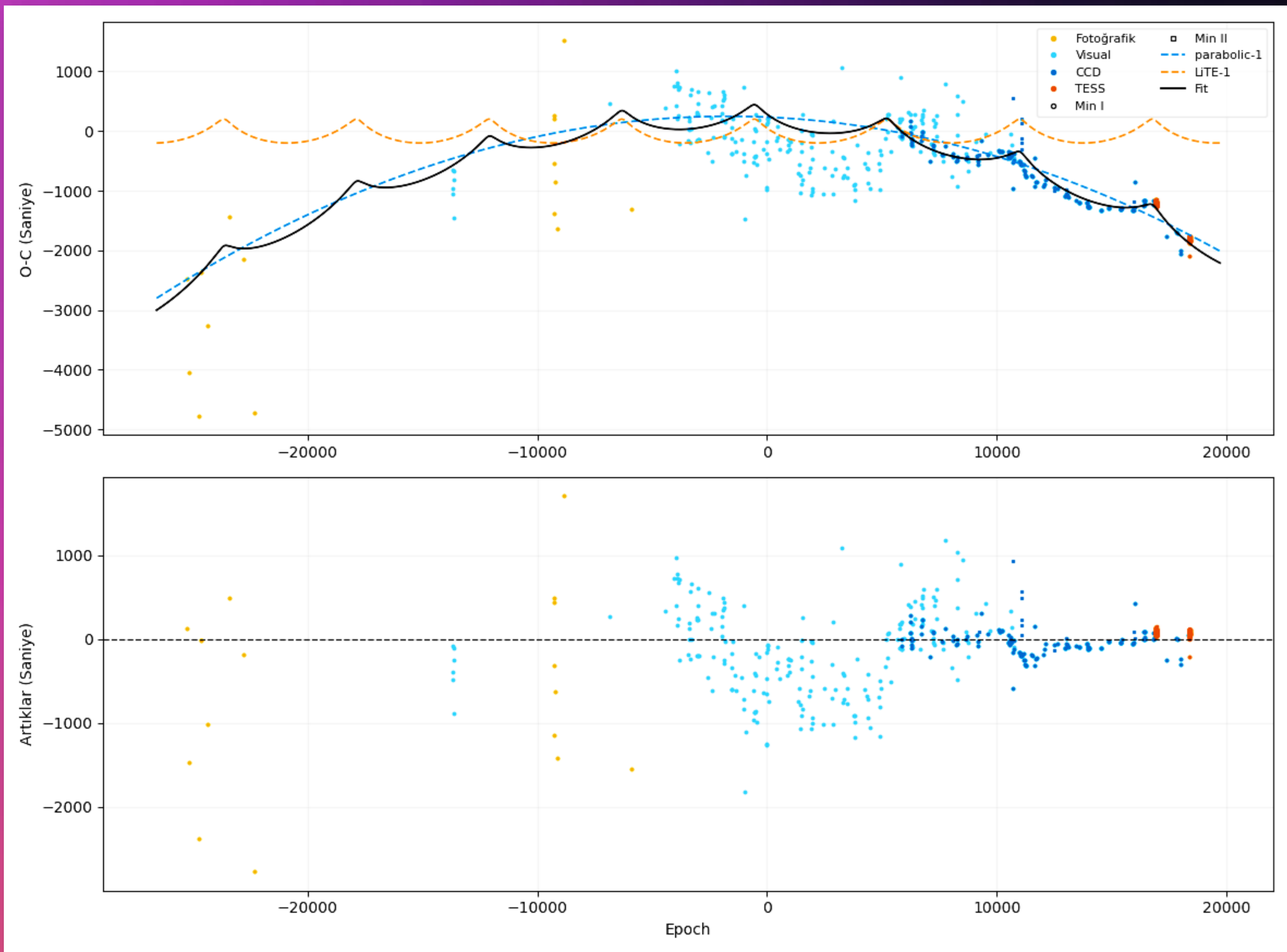
Öte yandan sistemin fiziksel parametrelerini elde etmek için tayfsal kütle oranı (q_{sp}) elde edilemediği durumlarda fotometrik kütle oranı elde etmek adına q-i (kütle oranı- yörünge eğimi) taraması yöntemine başvurulur. Gözlemsel ışık eğrilerinin, fiziksel parametreleri kısıtlanmış sentetik ışık eğrilerine uyumlanmasına dayanan q-i taraması bileşenlerin kütle oranı ve yörünge eğikliğini belirlemeye olanak tanır. ETV analizi ve q-i taramasından elde edilen sonuçların bir arada ele alınmasıyla sistemin mevcut fiziksel durumuna ve evrimsel geleceğine dair yorum yapılabilir.

Veri Toplama

Sistemin literatürdeki tüm minimum zamanları (HJD) çeşitli astronomi veritabanlarından derlendi (200 görsel, 16 fotoğrafik ve 140 CCD olmak üzere toplam 356 adet). Güncel minimum zamanları ise TESS uydü gözlemlerinden [**Sektör 58 ve 85**], Kwee-van Woerden (1956) yöntemini baz alan Xtrema yazılımı (Bahar vd., 2015) kullanılarak hesaplandı (119 adet) ve elde edilen veriler için BJD-HJD dönüşümü uygulandı. Böylece 1932-2025 yılları arasını kapsayan, 93 yıllık zaman aralığına dağılmış toplam 475 adet minimum zamanı içeren kapsamlı bir veri seti oluşturuldu.

Kütle oranı – yörünge eğikliği (q-i) taraması için gereken gözlemsel ışık eğrisi de yine TESS uydü gözlemlerinden elde edildi. Sistemin lineer ışık elemanları literatürden (Khaliullina, 2019) alınmış olup, aşağıdaki gibidir:

$$[\text{Min I} = \text{HJD } 2446033.307 + 0.75366487 \times E]$$



Şekil 1. RV Tri sistemine ait dönem değişim grafiği

Parametre	Değer	Parametre	Değer	Parametre	Değer
ΔP (gün)	$(-5.708 \pm 0.32) \times 10^{-11}$	i (°)	85 ± 0.04	M_1 (M $\odot$)	2.23
ΔT_0 (gün)	$(-1.9369 \pm 0.745) \times 10^{-7}$	q (M $_2$ / M $_1$)	0.32 ± 0.1	M_2 (M $\odot$)	0.716
e_3	0.6999 ± 0.0019	f (%)	2.91	R_1 (R $\odot$)	1.85
ω_3 (°)	97.74 ± 13.36	T_1 (K)	7000	R_2 (R $\odot$)	1.43
T_3 (HJD)	5774.96 ± 19.3	T_2 (K)	4275.5 ± 5	$M_{bol,1}$ (mag)	2.57
P_3 (gün)	51505.4 ± 598	ℓ_1	0.92 ± 0.003	$M_{bol,2}$ (mag)	5.27
A (gün)	0.00231661 ± 0.0002	ℓ_2	0.08 ± 0.003	$\log(g_1)$ (cgs)	4.9
P_3 (yıl)	11.93 ± 0.18	Ω_1	2.51 ± 0.002	$\log(g_2)$ (cgs)	4.1
$a_{12} \sin i_3$ (AU)	0.404 ± 0.033	Ω_2	2.31 ± 0.002		
a_3 (AU)	5.56 ± 0.16				
$f(m_3)$ (M $\odot$)	0.00046 ± 0.00011				
M_3 (M $\odot$)	0.101 ± 0.01				

Tablo 1. RV Tri sistemine ait dönem değişimi analizinden elde edilen parametreler.

Parametre	Değer	Parametre	Değer
i (°)	85 ± 0.04	M_1 (M $\odot$)	2.23
q (M $_2$ / M $_1$)	0.32 ± 0.1	M_2 (M $\odot$)	0.716
f (%)	2.91	R_1 (R $\odot$)	1.85
T_1 (K)	7000	R_2 (R $\odot$)	1.43
T_2 (K)	4275.5 ± 5	$M_{bol,1}$ (mag)	2.57
ℓ_1	0.92 ± 0.003	$M_{bol,2}$ (mag)	5.27
ℓ_2	0.08 ± 0.003	$\log(g_1)$ (cgs)	4.9
Ω_1	2.51 ± 0.002	$\log(g_2)$ (cgs)	4.1
Ω_2	2.31 ± 0.002		

Tablo 2. RV Tri sistemine ait ışık eğrisi modellemesinden elde edilen fiziksel ve geometrik parametreler.

Teşekkür

Altyapı ve akademik destekleri için **Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi**'ne ve başta Sayın **Prof. Dr. Mesut YILMAZ** ve **Prof. Dr. Hakan Volkan ŞENAVCI** olmak üzere tüm değerli hocalarımıza teşekkür ederiz.

Özet

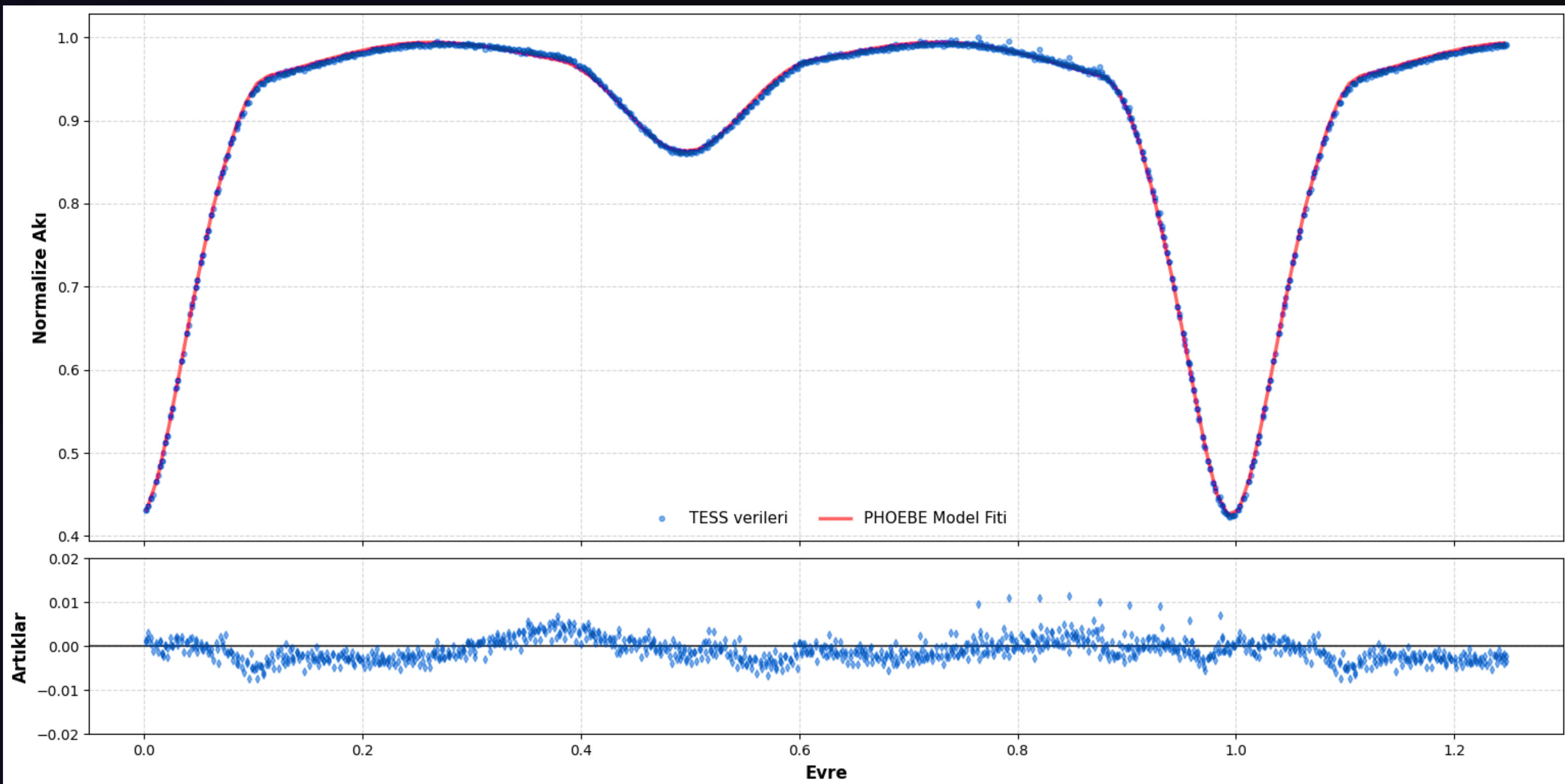
Bu çalışmada, yarı ayırık örten çift yıldız sistemi RV Tri'nin yörünge dinamiği güncel fotometrik veriler ışığında incelendi. Sistemin çeşitli astronomi veritabanlarında kayıtlı minimum zamanları ve TESS sektör verilerinden alınan minimum zamanları derlenerek uzun dönemli O-C diyagramı oluşturuldu. Diyagrama uyumlanan eğrilerle değişimin hangi etki veya etkiler kaynaklı olduğu yorumlanabildi.

İlave olarak çalışma PHOEBE (PHysics Of Eclipsing BinariEs) yazılımı kullanılarak q-i taraması yöntemiyle desteklendi. Bu analiz sonucunda sistemin en uygun fotometrik kütle oranı (q) ve yörünge eğikliğinin (i) yanı sıra temel fotometrik ve geometrik parametreleri elde edildi.

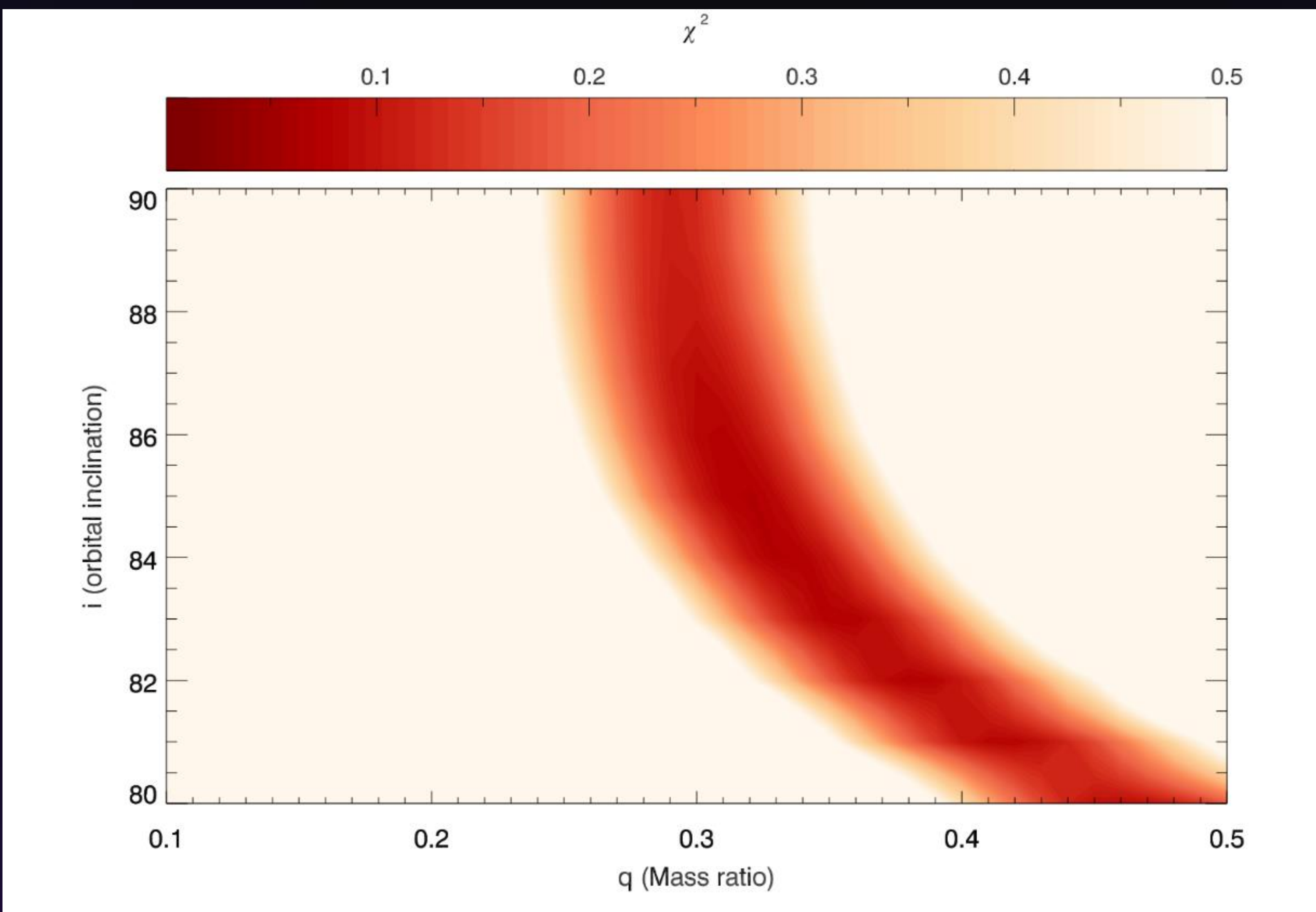
Analiz

Bu çalışmada RV Tri sisteminin yörünge dinamiği, yüksek hassasiyetli TESS sektör verileri ile desteklenerek ve PHOEBE ışık eğrisi modellemesi ile birleştirilerek incelendi. Sistemin dönem değişimi üzerine literatürdeki en kapsamlı çalışma Khaliullina (2019) tarafından yapılmış olup, bu çalışmada TESS verilerinin getirdiği geniş zaman aralığı sayesinde bu bulgular daha ileriye taşındı. Sistemin yörünge periyodundaki azalma Khaliullina (2019) tarafından manyetik frenleme mekanizmasıyla açıklanmışken, elde edilen O-C diyagramından yılda 5.53×10^{-8} günlük parabolik değişim ile çok daha güncel bir oran belirlendi.

Bu çalışmayı önceki araştırmalardan ayıran en önemli unsur olarak, PHOEBE ile gerçekleştirilen q-i [q = 0.1 - 0.5, i = 80° - 90°] taraması sonucunda sistemin yarı-ayırık yapıda olduğu ve ikinci bileşenin Roche lobunu tamamen doldurduğu (mod 5) kanıtlandı. Bu fotometrik bulguyla birlikte, yörünge periyodunda gözlenen azalmanın salt teorik bir açısız momentum kaybindan ziyade, doğrudan daha düşük kütleli bileşenden ana bileşene doğru gerçekleşen kütle aktarımı ($dM/dt = -1.1 \times 10^{-8} M_{\odot}/\text{yıl}$) ile açıklanabileceği fiziksel olarak temellendirildi.



Öte yandan, O-C diyagramında tespit edilen sinüzoidal dalgalanma (LiTE) ile sistemde bir üçüncü cismin varlığı saptandı. Khaliullina (2019) tarafından 10.6 yıl olarak öngörülen üçüncü cisim periyodu, TESS verilerinin katkısıyla 11.93 yıl olarak güncellendi. Elde edilen kütle fonksiyonu ($f(m_3) = 0.00046 M_{\odot}$) üzerinden hesaplanan üçüncü cisim kütlelerinin ($m_3 = 0.101 M_{\odot}$), Khaliullina'nın (2019) belirlediği minimum kütle ($0.082 M_{\odot}$) limitiyle uyum içinde olduğu görüldü; böylece sistemin etrafında dolanan görünmeyen bileşenin düşük kütleli bir ilave bileşen olduğu desteklendi. Sonuç olarak, fotometrik verilerin dinamik O-C modellemesiyle bir araya getirilmesiyle, RV Tri sisteminin evrimsel durumu ve fiziksel etkileşimleri hakkında literatüre nicel bir perspektif kazandırıldı.



Şekil 2. RV Tri sisteminin q-i taramasına ait χ^2 haritası. Tarama sonucunda en iyi sonuç q=0.32 ve i=85°olarak bulundu.

Referans

Khaliullina, A. I. (2019). Orbital-Period Variations of the Eclipsing Binaries RY Aur, GG Cas, RS Lep, and RV Tri. *Astronomy Reports*, 63(9), 739-750

Bahar E., Şenavcı H. V., Baştürk Ö., 2015, ASP Conf. Ser. Vol. 496, Living Together: Planets, Host Stars and Binaries. Astron. Soc. Pac., San Francisco, p. 288