

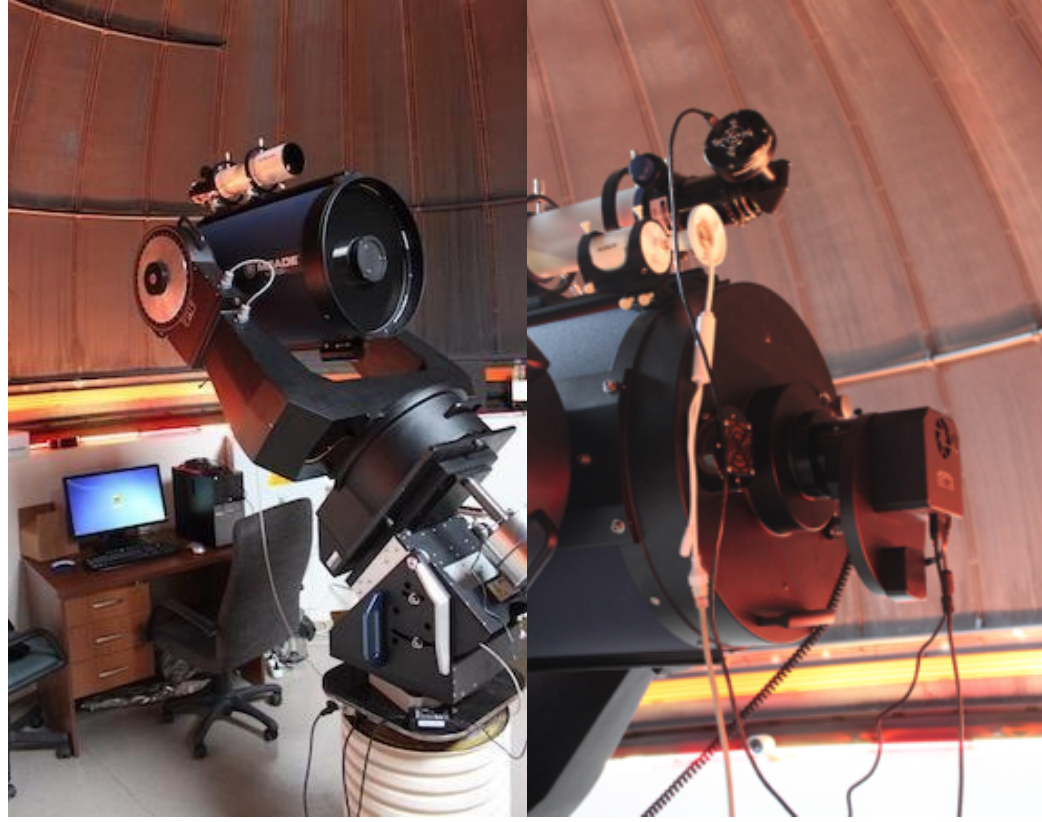
GİRİŞ

TY Boo, yaklaşık 0.317 günlük yörünge dönemine sahip W UMA tipi bir değen çift yıldız sistemidir. Değen çiftlerde gözlenen yörünge dönemi değişimleri; bileşenler arasındaki kütle aktarımı (Qian 2001), açısal momentum kaybı, manyetik etkinlik (Applegate 1992) ve sisteme bağlı olası ek bileşenlerin oluşturduğu ışık-zaman etkisi, LiTE (Yang et al. 2007; Christopoulou et al. 2012) gibi farklı fiziksel mekanizmalarla ilişkili olabilir.

Bu çalışma kapsamında TY Boo sistemi, İstanbul Üniversitesi Gözlemevi'nde gerçekleştirilen fotometrik gözlemlerle takip edilmiş ve elde edilen ışık eğrilerinden yeni tutulma minimum zamanları belirlenmiştir. Bu yeni zamanlamalar, literatürde yayımlanmış minimum zamanlarıyla birleştirilerek sistemin uzun dönemli yörünge dönemi değişimi O-C yöntemi ile yeniden incelenmiştir. Bu sayede, yeni elde edilen minimum zamanları uzun yıllara yayılan literatür verileriyle birlikte değerlendirilerek TY Boo'nun yörünge dönemindeki uzun süreli azalma eğilimi ile çevrimsel değişimin daha güncel ve geniş bir veri seti üzerinden incelenmesi hedeflenmiştir.

Sağ Açıklık ($\alpha_{J2000.0}$)	15 00 46.939
Dik Açıklık ($\delta_{J2000.0}$)	+35 07 54.742
Değişen Türü	EW / KW
Spektral Tip	G3 + G7
Periyot (P) (gün)	0.31714
Yörünge eğimi (i) (derece)	78.76
Kütle oranı (Mc/Mh)	2.26
Min-Max Parlaklık (V, kadir)	10.81 – 11.47

Tablo 1. TY Boo sistemine ait temel parametreler.



Şekil 1. İstanbul Üniversitesi Gözlemevi'nin İST40 teleskobu (sol) ve Moravian G2 CCD kamerası (sağ).

MİNİMUM ZAMANLARI VE VERİ SETLERİ

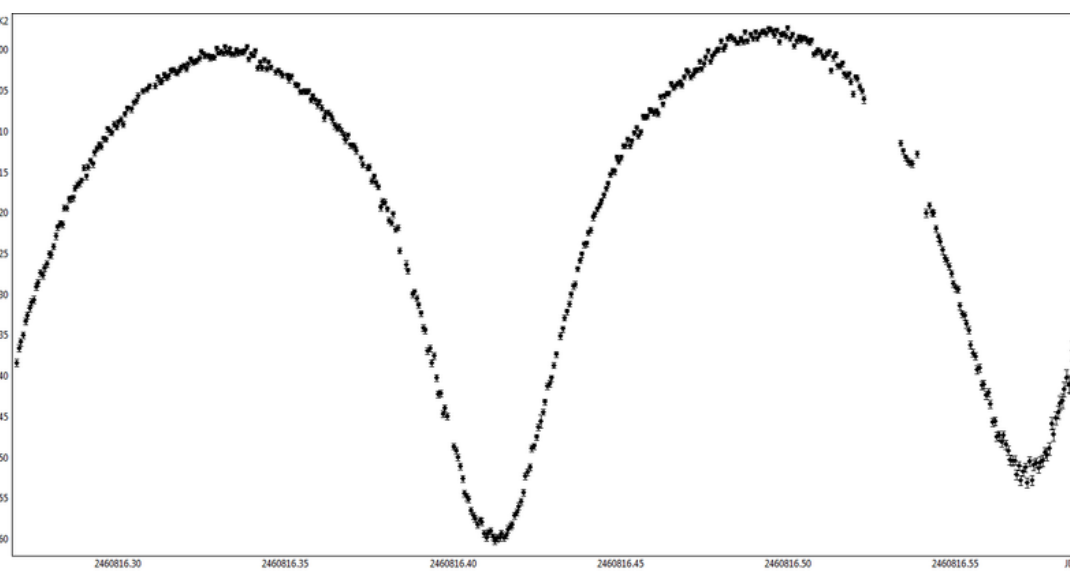
TY Boo sisteminin fotometrik gözlemleri İstanbul Üniversitesi Gözlemevi'nde bulunan IST40 teleskobu ile gerçekleştirilmiştir (Aliş vd., 2020). Gözlemlerde Moravian G2 CCD kamera kullanılmış ve ölçümler Johnson-Cousins BVRI filtrelerinde alınmıştır.

2025-2026 yıllarında yapılan 23 gözlemin verileri Munipack fotometrik analiz yazılımı yardımıyla ışık eğrisine çevrilmiştir (Hroch, 2014). Bu ışık eğrileri üzerinden Peranso programı yardımıyla 26 minimum zamanı belirlenmiştir.

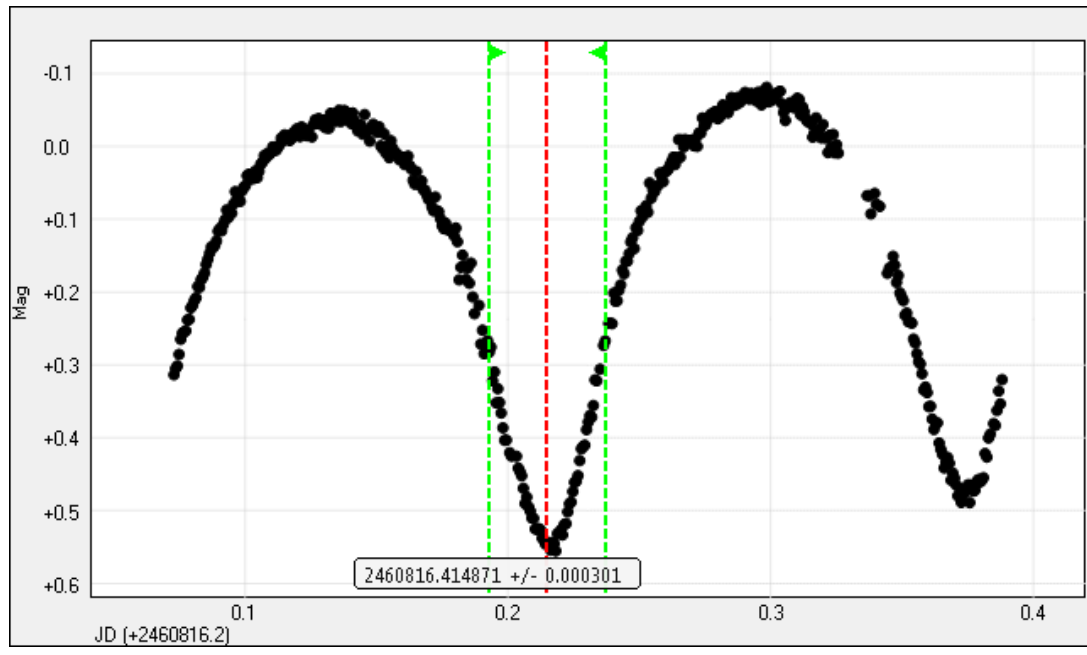
HJD	Uncertainty	O - C day
2.460.815,46398	0,00012	-0,0898535796441138
2.460.816,41487	0,000301	-0,0904090395197272
2.460.817,36715	0,00007	-0,0895814998075366
2.460.829,41576	0,000208	-0,0926606599241495
2.460.831,32126	0,000067	-0,0900655798614025
2.460.843,37078	0,000267	-0,0922337397933006
2.460.857,32573	0,000162	-0,0918758199550211
2.461.151,32080	0,000234	-0,0946889598853886
2.461.154,49166	0,000228	-0,0953271598555148
2.461.188,42622	0,000648	-0,0957978996448219
2.461.203,33240	0,000384	-0,0956624397076666
2.461.207,45511	0,000184	-0,0958970994688571
2.461.217,28753	0,001345	-0,0951225198805332
2.461.221,40925	0,000206	-0,0963501799851656
2.461.227,43497	0,000309	-0,0964777595363557
2.461.228,38610	0,000478	-0,0968002197332680

Tablo 2. TY Boo sisteminin İST40 gözlemleri ile elde edilen birincil minimum O-C değerleri.

O-C analizinde, bu çalışma kapsamında elde edilen yeni minimum zamanları literatürden derlenen tarihsel tutulma zamanlarıyla birleştirilmiştir. Literatürde yayımlanmış minimum zamanlarının büyük bölümü O-C Gateway/VarAstro veri tabanından (Paschke & Brát 2006) derlenmiştir. Uzun vadeli dönem değişimini incelemek amacıyla 394 birincil minimum zamanını içeren ALL veri seti oluşturulmuştur. Buna ek olarak, daha güvenilir bir karşılaştırma için veri setinden photographic ve visual metoduyla elde edilen veriler çıkarılarak 230 birincil minimum zamanı içeren CCD veri seti oluşturulmuştur.



Şekil 2. TY Boo sisteminin 20/05/2025 tarihinde İST40 teleskobu ile elde edilmiş bir ışık eğrisi.



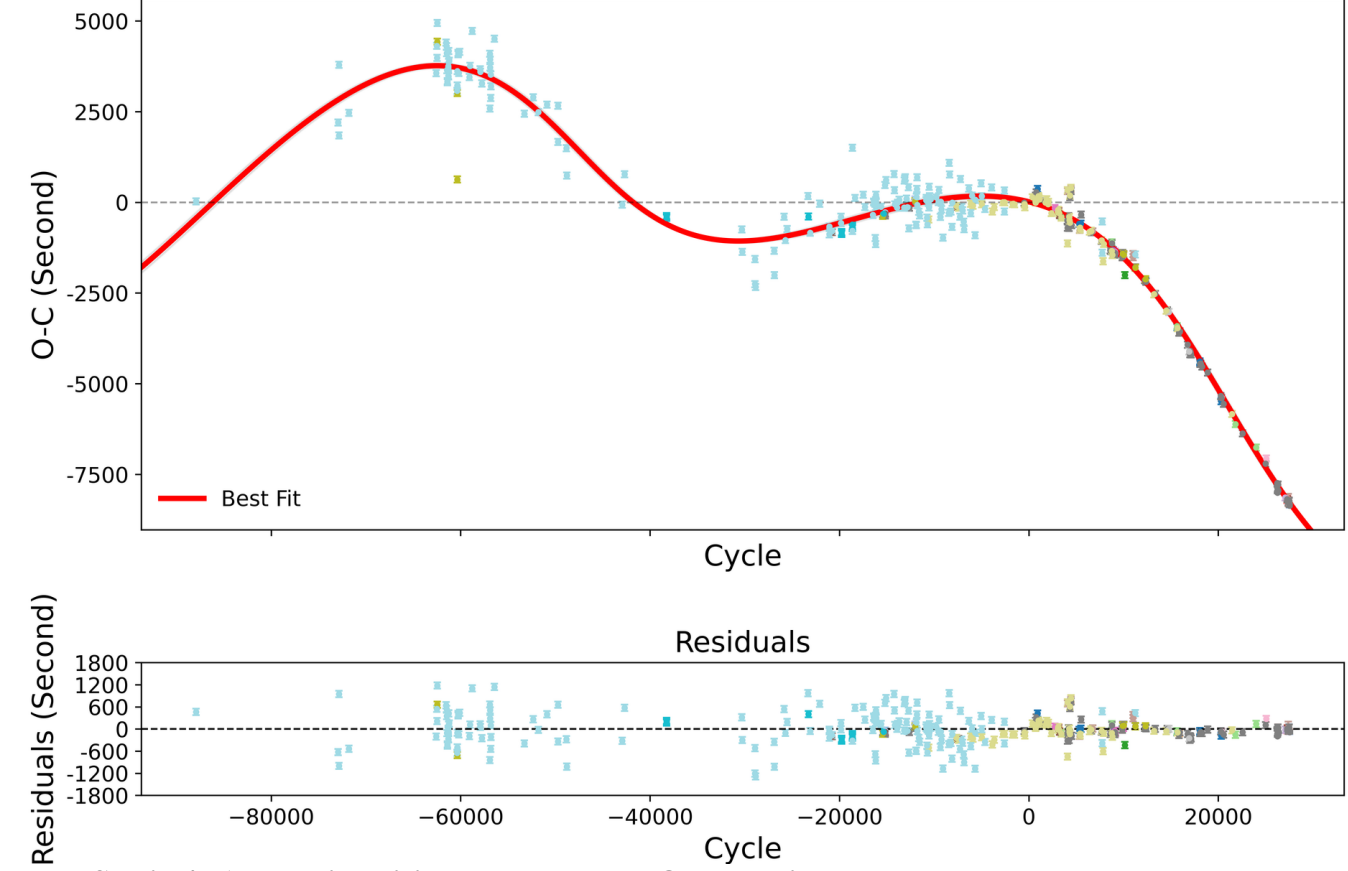
Şekil 3. Peranso yazılımı ile minimum zamanın tayini.

O-C ANALİZİ VE MODELLEME

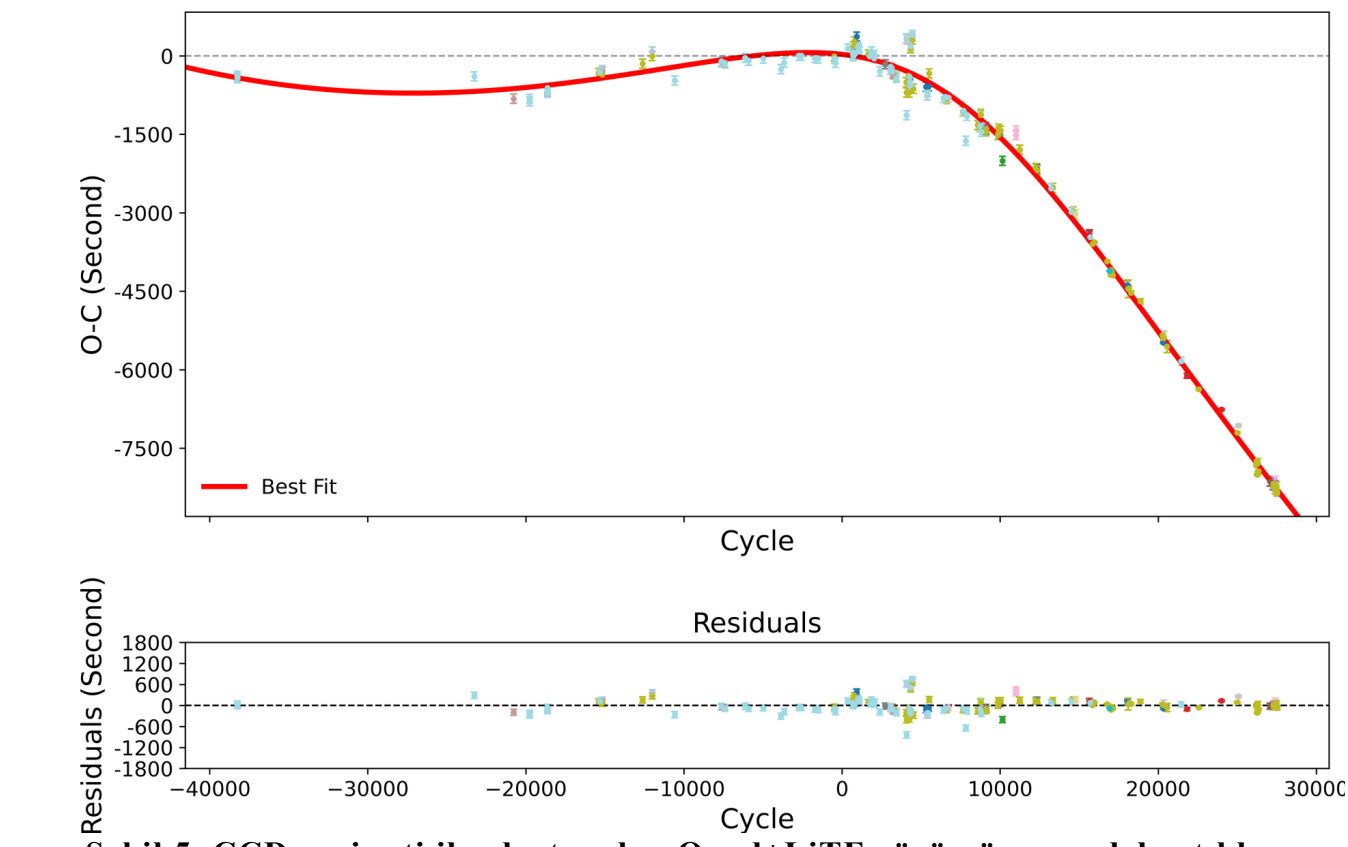
Minimum zamanları için O-C değerleri, $O-C = T_{obs} - (T_0 + Px)$ bağıntısıyla hesaplanmıştır. Analizde $T_0 = 2452500.2027$ HJD ve $P = 0.31714982$ gün referans efemerisi kullanılmıştır.

O-C değişimi oc_py (Güler, 2025) ile Linear+Quadratic+LiTE modeli kullanılarak incelenmiştir. Başlangıç çözümü en küçük kareler yöntemiyle, nihai parametreler ise MCMC analiziyle belirlenmiştir.

Uzun tarih aralığına sahip ALL veri seti temel çözüm olarak kullanılmış; daha yüksek hassasiyetli fotoelektrik ve CCD minimumlarını içeren CCD veri seti ise çözümün veri seçimine ve zaman tabanına duyarlılığını değerlendirmek amacıyla ayrıca incelenmiştir.



Şekil 4. All veri seti ile oluşturulan Quad+LiTE çözümü ve model artıkları.



Şekil 5. CCD veri seti ile oluşturulan Quad+LiTE çözümü ve model artıkları.

Parameter	ALL	CCD
Q	-1.44063×10^{-11}	-1.44150×10^{-11}
e	0.21347 (-0.00687, +0.00685)	0.30357
ω (deg)	190.94265 (-2.06, +2.09)	98.21565
P_{LiTE} (epoch)	68446.29 (-178.40, +181.80)	87941.20
T_{LiTE} (epoch)	-46701.19 (-415.10, +422.50)	-81014.27
A_{LiTE} (days)	0.02510 (-0.00010, +0.00010)	0.02947
P_3 (years)	59.43379 (-0.15491, +0.15786)	76.36176
T_{LiTE} (HJD)	2437688.92870 (-131.64889, +133.99580)	2426806.54131
$a_{12} \sin i_3$ (AU)	4.44416 (-0.01704, +0.01707)	5.10767
$f(m_3)$ ($M_\odot$)	0.02485 (-0.00031, +0.00031)	0.02285
$M_{3,min}$ ($M_\odot$)	0.50641 (-0.01378, +0.01364)	0.49017
$\dot{P}$ (d yr $^{-1}$)	-3.31818×10^{-8}	-3.32018×10^{-8}
$\dot{P}$ (s yr $^{-1}$)	-0.00287	-0.00287

Tablo 3. oc_py programı en iyi çözüm parametreleri.

1926 yılı başlangıçlı uzun zaman aralıklı ALL veri seti, TY Boo'nun O-C değişiminin yalnızca doğrusal bir efemerisle açıklanamadığını göstermektedir. En iyi çözümde negatif kuadratik terime ek olarak uzun dönemli çevrimsel bir değişim bulunmaktadır ve bu yapı LiTE modeliyle uyumludur. CCD çözümünde ise daha kısa bir zaman aralığı nedeniyle kuadratik terim ile LiTE parametreleri arasında daha güçlü dejenerasyon görülmektedir. Bu nedenle fiziksel yorumlarda ALL çözümü temel alınmış, CCD çözümü veri seçimi ve dönem duyarlılığının bir kontrolü olarak değerlendirilmiştir.

LİTERATÜR KARŞILAŞTIRMASI VE SONUÇLAR

ALL veri setinden elde edilen yaklaşık 59.43 yıllık çevrim, Yang et al. (2007) tarafından bulunan 58.6 yıl ve Christopoulou et al. (2012) tarafından bulunan 58.9 yıllık çevrimle oldukça uyumludur. Benzer şekilde bu çalışmada elde edilen 0.02510 günlük LiTE genişliği, Christopoulou et al. (2012)'nin 0.0254 günlük değeriyle oldukça yakındır. Bulduğumuz $\dot{P} = -3.32 \times 10^{-8}$ gün/yıl değerinin de aynı çalışmada verilen -3.65×10^{-8} gün/yıl değeriyle aynı mertebede olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, TY Boo'nun uzun dönemli O-C yapısının yeni minimum zamanları eklendiğinde de devam ettiğini göstermektedir. Quad+LiTE modeli TY Boo'nun uzun dönemli O-C değişiminin büyük bölümünü açıklamaktadır. Elde edilen yaklaşık 59 yıllık çevrimden yola çıkarak $i_3 = 90^\circ$ kabulüyle sistemde bulunabilecek üçüncü bileşenin minimum kütlesi yaklaşık $0.51 M_\odot$ olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte model çıkarıldıktan sonra artıkların dağılımında dalgalı bir yapı görülmektedir. Bu yapı mevcut modelin açıklayamadığı başka bir fiziksel durum olma ihtimalini ortaya koymaktadır. Ancak bunun manyetik etkinlikten, 4. bir cismin varlığından, başka bir çevrimsel etkiden veya veri kaynaklı sistematiklerden kaynaklanıp kaynaklanmadığı mevcut analizle kesin olarak belirlenememiştir. Bu nedenle model artıklarının oluşturduğu yapının kaynağını belirlemek için daha uzun süreli yeni minimum zamanı gözlemlerine ve manyetik etkinlik göstergelerinin birlikte incelenmesine ihtiyaç vardır.

REFERANSLAR

- Aliş S., Güver T., Ege E., et al., 2020, Turkish J. Astron. Astrophys., 1, 759
- Applegate J. H., 1992, ApJ, 385, 621
- Christopoulou P.-E., Papageorgiou A., Vasileiadis T., Tsantilas S., 2012, AJ, 144, 149
- Elkhateeb M. M., Nouh M. I., Saad A.-N. S., 2015, Res. Astron. Astrophys., 15, 501
- Yang Y.-G., Dai J.-M., Yin X.-G., Xiang F.-Y., 2007, AJ, 134, 179
- Güler B., 2025, MSc thesis, Ankara Univ.
- Akar F., Baştürk Ö., Esmer E. M., Sertkan E., Güler B., Bayram M. B., 2025, Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso, 55, 286
- Paschke A., Brát L., 2006, Open Eur. J. Var. Stars, 23, 13
- Qian S., 2001, MNRAS, 328, 635
- Hroch F., 2014, Astrophysics Source Code Library, ascl:1402.006
- Paunzen E., Vanmunster T., 2016, Astron. Nachr., 337, 239

TEŞEKKÜR

Bu araştırmadaki veriler, İstanbul Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Gözlemevi'nde yer alan İST40 teleskobuyla, 1919B012519927 numaralı proje kapsamında 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı ile desteklenmektedir. Minimum zaman hesapları için Barış Güler'in Python programlama dilinde yazılmış oc_py programından yararlanılmıştır. Bu çalışma için O-C gateway, Gaia, SIMBAD, BRNO ve MAST veri portalları kaynak olarak kullanılmıştır.

İLETİŞİM

- mehmeticen.astro@gmail.com
- iremzelkitli@gmail.com
- umutylldztr@gmail.com