

UZ Lyr ve FL Lyr Örtten Çift Yıldızlarının ETV Analizleri

Anıl Temelci^{1,3} , Selim O. Selam^{2,3}  

¹ Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bil. ABD, Şehit Ömer Halisdemir Bulvarı. 06110 Dışkapı, Ankara, Türkiye
² Ankara Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Degol Cad., 06100, Beşevler, Ankara, Türkiye
³ Ankara Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Araş. ve Uyg. Merk. (Kreiken Rasathanesi), İncek Bul., 06837, Ahlatlıbel, Ankara, Türkiye

Accepted: February 28, 2025. Revised: February 28, 2025. Received: January 31, 2025.

Özet

UZ Lyr ve FL Lyr sistemleri, Algol türü (EA) örtten çift yıldız sistemleridir. Bu çalışmada amaç, her iki çift sistemin yörünge döneminde daha önceden ortaya konan değişimlerin yapısını daha iyi anlamak ve güncel gözlem verileri ile yeniden ele almaktır. Bu amaçla, minimum zamanlarından elde edilen O-C diyagramları kullanılarak Tutulma Zamanlama Değişimi (ETV) analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde, Kepler ve TESS uydu gözlemlerinden tarafımızca hesaplanan minimum zamanlarının yanı sıra literatürden derlenen yer tabanlı CCD, fotoelektrik, fotoğrafik ve görsel gözlemlere dayalı minimum zamanları da kullanılmıştır. Ayrıca, Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi T80 ve T35 teleskoplarından elde edilen gözlemlerden hesaplanan yeni minimum zamanları da çalışmamıza dahil edilmiştir.

Abstract

UZ Lyr and FL Lyr are Algol type (EA) eclipsing binary systems. In this study, ETV (Eclipse Timing Variation) analyses of the both systems were performed by using their O-C diagrams which are constructed from updated minima times data, to better understand their previously announced orbital period variation characteristics. During the analyses, minima times calculated by us from Kepler and TESS photometric data and all previously published CCD, photo-electric, photographic and visual literature data were used. This data complemented with minima times calculated from our photometric observations obtained with T80 and T35 telescopes at Ankara University Kreiken Observatory as well.

Anahtar Kelimeler: binaries: eclipsing – Methods: observational – Techniques: photometric – Stars: individual: FL Lyr, UZ Lyr

1 Giriş

Algol türü sistemler, erken tür bir anakol yıldızı (baş bileşen) ve geç tür bir anakol, altdev veya dev yıldızdan (yoldaş bileşen) oluşma yakın çift yıldızlardır. Yoldaş bileşeni anakol yıldızı (V) olan sistemlerin her iki bileşeni de küresel yapıda olup *ayrık* çift yıldız sistemleri olarak da bilinirler. Buna karşılık yoldaş bileşeni dev (III) veya altdev (IV) olanlar ise *yarı-ayrık* çift yıldız sistemleri adını alırlar. Yarı-ayrık sistemlerde, kritik Roche şişimini doldurmuş durumda bulunan yoldaş bileşenden baş bileşene bir madde aktarımı söz konusudur. Algol türü çift sistemlerin büyük bir çoğunluğu yörünge dönemlerinde çoklu karaktere sahip karmaşık dönem değişimleri gösterebilmektedirler (bkz. Kreiner 1971, Freiboese-Conde ve Herczeg 1973, Kreiner ve Ziolkowski 1978). Bileşenler arası madde/momentum transferi, basık (eliptik) yörüngelerde eksen dönmesi etkisi, geç tayf türü bileşenden kaynaklanan manyetik aktivite etkisi ve çift sisteme fiziksel olarak bağlı ilave bileşen(ler)in yarattığı ışık-zaman etkisi (Light-travel Time Effect - LTTE) gözlenen bu değişimlerin ana nedenleridir. Bu çalışmada, yörünge dönemi değişimi gösterdikleri daha önceden literatürde ortaya konmuş olan iki Algol türü örtten çift yıldız sistemi, FL Lyr ve UZ Lyr'in dönem değişim karakterleri ve bunları doğuran mekanizmaların geçerliliği, yeni verilerin ışığı altında gerçekleştirilen Tutulma Zamanlama Değişimi (Eclipse Timing Variation - ETV) analizleriyle denetlenmiştir.

FL Lyr (BD+46° 2641, KIC 9641031, TIC 158660631) sisteminin ışık değişimine sahip olduğu ilk kez Morgenroth (1935) tarafından, Berlin Gözlemevi'nde sürdürülen fotoğrafik tarama gözlemleri sırasında ortaya konmuştur. Bu çalışmada sistemin G5 tayf türünden Algol türü bir örtten değişen çift yıldız olduğu bildirilmiştir. Struve vd. (1950) sistemin ilk tayfsal gözlemlerini gerçekleştirmiş ve tek çizgili bir tayfsal çift olarak elde ettikleri dikine hız eğrisini analiz ederek yörünge parametrelerini ilk kez elde etmişlerdir. Cristaldi (1965) sistem için V bandında elde ettiği fotoelektrik ışıkölçüm gözlemlerden ürettiği ışık eğrisini basit küresel model yaklaşımı ile analiz etmiş ve analiz sonuçlarını Struve vd. (1950)'nin dikine hız eğrisi analiz sonuçları ile birleştirerek sistemin bileşen kütlelerini tahmin etmiştir. Ahnert (1973), literatürden derlediği tüm minimum zamanlarını kullanarak gerçekleştirdiği O-C diyagramı analizi sonucunda sistemin kayda değer bir dönem değişimi göstermediğini bildirmiştir. Botsula (1978) ve Cester vd. (1979), Cristaldi (1965)'nin V bandı ışık eğrisini farklı ışık eğrisi analiz yöntemleri ile analiz etmişler ve sisteme ilişkin yörünge ve bileşen parametrelerini güncellemişlerdir. Popper vd. (1986) 1978-1982 yılları arasında, sistemin V ve B bandlarında yeni fotoelektrik ışıkölçüm gözlemleri ve tayfsal gözlemlerini elde etmişler ve ortak dikine hız ve ışık eğrisi analizinden sistemin daha hassas yörünge ve bileşen parametrelerini hesaplamışlardır. Molenda-Zakowicz vd. (2007), 29 adet Kepler asterosismoloji hedef nesneleri için gerçekleştirdikleri tayfsal çalışmada FL Lyr için elde ettikleri yeni dikine hız eğrisini analiz etmişler ve sistemin yörünge parametrelerini

* Selim.Selam@science.ankara.edu.tr

hesaplamışlardır. Buna ek olarak ROTFIT tayfsal benzetim kodu ve Kurucz model atmosfer kodunu kullanarak bileşenlerin temel atmosferik parametrelerinin (T_e , $\log g$, $[\text{Fe}/\text{H}]$) yanı sıra izdüşüm ekvatoryal dönme hızlarını ($v \sin i$) da belirlemişlerdir. **Kozyreva vd. (2015, 2016)** FL Lyr'in tüm Kepler uydusu verisinden minimum zamanlarını hesaplamışlar ve sadece baş minimum zamanlarından oluşturdukları O-C diyagramını analiz etmişlerdir. O-C verisine uyguladıkları frekans analizi sonucu değerini ≈ 7 yıl olarak belirledikleri çevrimsel bir değişimi, sisteme bağlı bir gezegen bileşene atfederek kütlesini $4 M_{\text{jüp}}$ olarak hesaplamışlardır. **Helminiak vd. (2017, 2019)**, FL Lyr için Okayama Astrofizik Gözlemevi'nin 1.88m teleskobuna bağlı HIDES tayfçekerini kullanarak elde ettikleri tayflardan her iki bileşene ait dikine hız değerlerini ölçmüşler ve Kepler uydusu fotometrik verileriyle oluşturdukları ışık eğrileri ile birlikte analiz etmişlerdir. Ayrıca, **Kozyreva vd. (2015, 2016)**'nin önermiş oldukları gezegen bileşenin varlığını da, Kepler fotometrik verilerinden yeniden hesaplamış oldukları minimum zamanları için oluşturdukları O-C eğrisine Lomb-Scargle periodogram analizi yaparak denetlemişlerdir. Sonuç olarak **Kozyreva vd. (2015, 2016)**'nin tespit ettiği dönem değerinin izine rastlayamadıklarını, buna karşılık 103.2 gün dönemli, 6.0 ± 1.2 s genlikli bir çevrimsel değişimin en olası görüldüğünü rapor etmişlerdir. Bu değişimin olası nedenini ışık eğrilerinin tutulmalar dışında kalan kısımlarında izlerine rastlanan, karanlık yıldız lekelerinin zaman içerisinde gösterdikleri modülasyonlara ve yapısal değişiklik etkilerine bağlamışlardır. **Windemuth vd. (2019)**, ayrı çift yıldızların fiziksel parametrelerini elde etmek için geliştirmiş oldukları bir çıkarım yöntemini (dikine hız ölçümleri gerektirmeyen) FL Lyr'in de dahil olduğu çok sayıda sistemin Kepler ışık eğrilerine uygulayarak yörünge ve bileşenlerin fiziksel parametrelerini hesaplamışlardır. Ayrıca, çalışma için seçtikleri çok sayıda sistem için Tutulma Zamanlama Değişimi (ETV) gösterip göstermediklerini de kontrol etmiş ve FL Lyr'in tutulma zamanlamasında kayda değer bir değişim tespit edememişlerdir. **Stolle-McAllister vd. (2020)**, FL Lyr'in Kepler ve TESS fotometrik verilerinin yanı sıra yer tabanlı gözlemverilerinden elde ettikleri ilave gözlem verilerini de kullanarak ışık eğrisinde izlenen değişimleri çalışmışlardır. Kepler verisinde uzun zaman ölçekli olarak baş minimum derinliğinin arttığını, yan minimum derinliğinin ise azaldığını not etmiş ve bu durumun sistemdeki aktivite çevriminden kaynaklanabileceği sonucuna varmışlardır. **Laos vd. (2020)** Kitt Peak Gözlemevinin 2.1m çaplı teleskobuna bağlı Robotik Lazer Adaptif Optik (Robo-AO) görüntüleme sistemini kullanarak seçilmiş bazı tayfsal çiftlerin etrafında olası ilave bileşenleri tespit etmeye çalıştıkları çalışmada, FL Lyr için $0^{\circ}20'$ açısal ayrıklık gösteren ve 31.6 yıl yörünge dönemine sahip olması gereken bir üçüncü bileşen tespit etmişlerdir. **Kozyreva vd. (2023)** daha önce Kepler verisinden hesapladıkları baş minimum zamanları ile yaptıkları ETV çalışmalarını (**Kozyreva vd. 2015, 2016**), TESS verisinden hesapladıkları baş minimum zamanlarını ekleyerek güncellemişlerdir. Bu çalışma ile önerdikleri gezegen bileşen için minimum kütle değerini $\approx 6 M_{\text{jüp}}$ ve çift sistem etrafındaki yörüngesinin dönemini ise $P_{\text{yör}} = 22 \pm 0.5$ yıl olarak bulmuşlardır.

UZ Lyr'in (BD+37° 3424, KIC 2708156, TIC 122375269) değişen bir yıldız olduğu ilk kez, AAVSO gözlemcilerinin Kasım 1919 aylık gözlemci raporunda bildirilmiştir (bkz. **Eaton 1920**). Bu raporda, U Lyrae değişen yıldızının fotometrik gözlemleri için mukayese yıldızı olarak kullanılan UZ Lyr'in Algol türü ışık değişimine sahip bir örten değişen olduğu Miss J. C.

Mackie tarafından fark edilmiştir. Bu keşif sonrasında UZ Lyr hakkında uzunca bir süre detaylı bir çalışma yapılmamış, sadece amatör ve profesyonel gözlemciler tarafından minimum zamanı elde etmek üzere gerçekleştirilen görsel ve fotoğrafik gözlem sonuçları literatüre sunulmuştur. Bu nedenle UZ Lyr **Koch vd. (1979)**'nin ihmal edilmiş örten çiftler listesinde yer almıştır. **Rafert (1982)**, UZ Lyr'in minimum zamanlarının O-C diyagramında gösterdiği değişimin bir parabolik terim ile bir sinüsel terimin bileşkesi olarak ifade edilen ışık elemanları ile temsil edilebileceğini göstermiş ve sinüsel değişim karakterinin eksen dönmesine işaret etmediğini ortaya koymuştur. **Vesper vd. (2001)**, klasik Algol'lerde izlenen bileşenler arası kütle aktarımının yapısının, tayflarındaki H_α salma profillerindeki değişimlerle izlendiği çalışmalarında, ellerinde UZ Lyr için yeterli tayfsal veri olmamakla birlikte kütle aktarım olgusunun UZ Lyr'de aktif olduğu sonucuna varmışlardır. UZ Lyr, Kepler uzay teleskobu gözlemlerinin kapsamlı olarak irdelenmesi ve analizi ile oluşturulan "Kepler Örten Çiftler Kataloğu (Kepler Eclipsing Binary Catalogue, KEBC)" başlıklı geniş çaplı bir çalışmaya konu olmuş (**Prsa vd. 2011**) ve bu kapsamda 3 ayrı sürümü bulunan bu kataloğa ilişkin yayınlarda yer almıştır (bkz. **Kirk vd. 2016** ve burada verilen kaynaklar). Bu katalog çalışmalarında 2920 adet örten değişen sistemin Kepler ışık eğrileri, yapay zeka destekli bir yöntemle analiz edilmiş ve sonuçları sunulmuştur. **Gies vd. (2012)**, Kepler gözlem verilerini kullanarak 41 adet örten çift yıldızın etrafında ilave bileşenlerinin varlığını ETV analizi ile denetlemişler ve UZ Lyr için üçüncü bir bileşen varlığına dair ikna edici bir kanıt bulamamışlardır. Ancak, bu çalışmalarından üç yıl sonra ilave verilerin eklenmesiyle yayınladıkları benzer bir çalışmada (**Gies vd. 2015**) O-C diyagramında görülen dönemli değişimin üçüncü bir cisimden veya hareketli yıldız lekelerinden kaynaklanabileceğini bildirmişlerdir. **Borkovits vd. (2016)** 2600 adet Kepler çift yıldızının ETV analizlerini gerçekleştirdikleri çalışmalarına UZ Lyr'i de dahil etmişler ve Kepler ışık eğrilerinden kendilerinin hesapladıkları minimum zamanlarını literatürde mevcut tüm minimum zamanlarına ekleyerek oluşturdukları O-C diyagramının analizi sonucunda, sisteme fiziksel olarak bağlı, yörünge dönemi yaklaşık 15 yıl ve minimum kütlesi $0.17 M_\odot$ olan bir üçüncü cismin varlığını ortaya koymuşlardır. **Matson vd. (2017)**, **Gies vd. (2012, 2015)**'nin ETV analizlerini gerçekleştirdikleri 41 örten çift için tayfsal gözlemler yaparak dikine hız eğrilerini elde etmişler ve yörünge parametrelerini belirlemişlerdir. Ancak, UZ Lyr'in tayflarında üçüncü bir bileşenin varlığına dair izlere rastlamamışlardır. Son olarak, **Roobiat ve Pazhouhesh (2022)** UZ Lyr'in ilk kez eş zamanlı dikine hız ve ışık eğrisi (Kepler ışık eğrileri) analizini gerçekleştirmişler ve bu yolla sistemin bileşenleri ve yörüngesinin fiziksel parametrelerini belirlemenin yanı sıra O-C diyagramı analizi ile sistemin göstermekte olduğu dönem değişimini de çalışmışlardır. Dönem analizi sonucu sisteme fiziksel olarak bağlı üçüncü bir cisim için yörünge dönemini yaklaşık 23 yıl, minimum kütlesini ise $0.31 M_\odot$ olarak belirlemişlerdir.

FL Lyr ve UZ Lyr örten çift sistemlerinin bileşenlerine ve yörüngelerine ilişkin, yakın tarihli literatürden alınan bazı temel fiziksel büyüklükleri Çizelge 1'de listelenmiştir. Çizelgede $M_{1,2}$ bileşen kütlelerini, $R_{1,2}$ bileşen yarıçaplarını, a yörünge yarı-büyük eksen uzunluğunu, i yörünge eğim açısını, $L_{1,2}$ bileşen ışıyım güçlerini, $T_{e1,e2}$ bileşen etkin sıcaklıklarını temsil etmektedir.

Çizelge 1. FL Lyr ve UZ Lyr örtlen çift sistemlerinin fiziksel nicelikleri. Kaynaklar: (1) [Helminiak vd. \(2019\)](#), (2) [Roobiat ve Pazhouhesh \(2022\)](#).

Sistem	M_1 ($M_\odot$)	M_2 ($M_\odot$)	R_1 ($R_\odot$)	R_2 ($R_\odot$)	a ($R_\odot$)	i ($^\circ$)	L_1 ($L_\odot$)	L_2 ($L_\odot$)	T_{e1} (K)	T_{e2} (K)	Kaynak
FL Lyr	1.210(8)	0.951(4)	1.244(23)	0.900(24)	9.145(16)	87.13(71)	2.138(1.084)	0.661(832)	6260(120)	5490(240)	(1)
UZ Lyr	3.52(12)	0.91(18)	1.74(53)	1.75(81)	10.56(57)	81.485(8)	47.5(28.9)	0.99(92)	11461	4259(7)	(2)

Çizelge 2. FL Lyr ve UZ Lyr örtlen çift sistemlerinin AÜKR gözlemlerinden hesaplanan minimum zamanları

Sistem	Tarih	Minl (HJD)	Filtre	Teleskop
FL Lyr	14/07/23	2460140.31685(21)	V	T35
		2460140.31695(27)	R	T35
UZ Lyr	25/07/23	2460151.51980(8)	r	T80
		2460151.52027(1)	g	T80
	18/09/23	2460206.36725(10)	V	T35
		2460206.36723(11)	R	T35

2 Gözlemler ve Veri

Her iki sistem için yeni minimum zamanı elde etmek amacıyla Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi (AÜKR) T35 ve T80 teleskoplarında CCD fotometrik gözlemleri gerçekleştirilmiştir. T35 gözlemlerinde 2758x2208 piksel formatlı ve 4.54 mikron piksel boyutuna sahip önden aydınlatmalı QSI 660WS CCD kamerası ve Johnson V ve R filtreleri kullanılmıştır. T80 gözlemlerinde ise 1024x1024 piksel formatlı ve 13 mikron piksel boyutuna sahip arkadan aydınlatmalı APOGEE ALTA-U47+ CCD kamerası ve SDSS g ve r filtreleri kullanılmıştır. Elde edilen CCD görüntülerine Bias-Dark-Flat düzeltmesi ve açıklık fotometrisi uygulaması ¹MaxIM-DL yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Gözlem zamanları güneş merkezine indirgenmiştir (HJD). Gözlenen tutulma profillerinden Kwee-van Woerden yöntemini ([Kwee ve van Woerden 1956](#)) temel alan *Xtrema* yazılımı ([Bahar vd. 2015](#)) kullanılarak minimum zamanları hesaplanmış ve hatalarıyla birlikte Çizelge 2’de listelenmiştir.

Her iki sistemin de literatürde yayınlamış çok sayıda minimum zamanı bulunmaktadır. Sistemlerin bu verileri, örtlen çift yıldızların minimum zamanlarının topluca derlendiği [VarAstro](#) (eski O-C Gateway) ve [Lichtenknecker DataBase \(LkDB\)](#) veri tabanlarından alınmış ve orijinal kaynakları üzerinden hepsinin HJD biriminde olup olmadığı ve yazım hatalarının bulunup bulunmadığı kontrol edilmiştir.

Her iki sistem de Kepler ve TESS uzay teleskoplarıyla gözlenmiştir. FL Lyr’in tüm Kepler gözlem çeyrekliklerinde (Q0-Q17) 30 dk poz süreli “Long Cadence (LC)” ışık ölçüm verisi mevcuttur. Bunun yanında, 1 dk poz süreli “Short Cadence (SC)” verisi Q1, Q2a, Q7, Q8, Q13-Q17 çeyrekliklerinde bulunmaktadır. TESS verisi ise S14, S15, S40, S41, S53, S54, S55 sektörlerinde mevcuttur. UZ Lyr’in de tüm Kepler gözlem çeyrekliklerinde (Q0-Q17) “LC” ışık ölçüm verisi mevcuttur. Bunun yanı sıra sadece Q2a, Q6a, Q10a, ve Q14a çeyrekliklerinde “SC” verisi bulunmaktadır. TESS verisi ise S14, S40, S41, S54, S55 ve S74 sektörlerinde mevcuttur. Her iki sistemin yukarıda sözü edilen Kepler ve TESS ışık ölçüm verileri (Simple Aperture Photometry, SAP) [MAST](#) veritabanı aracılığı ile indirilmiş ve minimum zamanları *Xtrema* yazılımı

Çizelge 3. FL Lyr ve UZ Lyr örtlen çift sistemlerinin minimum zamanlarının metod ve türe göre sayıca dağılımları

Min. metodu	Min. türü	FL Lyr	UZ Lyr
Görsel (vis)	I	218	412
	II	4	–
Fotoğrafik (pg)	I	6	11
	II	–	–
Fotoelektrik (pe)	I	22	2
	II	1	–
CCD (ccd)	I	64	53
	II	8	1
Kepler (kpl)	I	620	713
	II	614	720
TESS (tss)	I	82	79
	II	81	80
Toplam		1720	2071

([Bahar vd. 2015](#)) kullanılarak hatalarıyla birlikte hesaplanmıştır. Hesaplanan tüm Kepler ve TESS minimum zamanları BJD biriminden HJD birimine çevirilmiştir. Çizelge 3’de her iki sistem için elimizde mevcut minimum zamanlarının türlerine ve gözlem metodlarına göre sayıca dağılımları verilmiştir. FL Lyr’in toplamda 1720 adet minimum zamanı 1934-2023 arasında 89 yıl zaman aralığına dağılmışken, UZ Lyr’in minimum zamanları 1920-2024 arasında 104 yıllık bir zaman aralığını kapsamaktadır.

3 ETV Analizleri ve Bulgular

3.1 FL Lyr

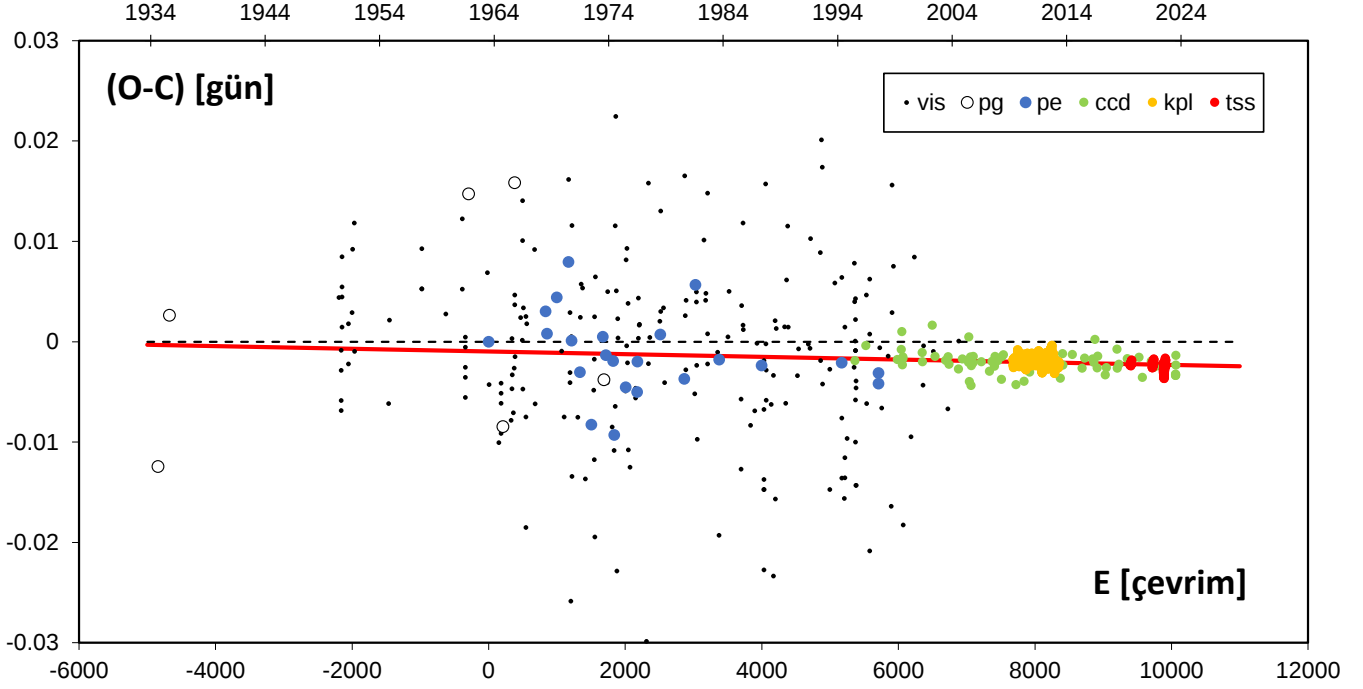
O-C Gateway’den alınan ışık elemanları kullanılarak FL Lyr’in tüm minimum zamanları için oluşturduğumuz O-C diyagramı Şekil 1’de görülmektedir. Öncelikle, görece yüksek belirleme hassasiyetine sahip Kepler ve TESS birinci minimumları kullanılarak O-C diyagramındaki dağılıma doğrusal düzeltme uygulanmış ve sistem için aşağıdaki güncel ışık elemanları hesaplanmıştır:

$$\text{Minl} = \text{HJD } 2438221.55150(8) + 2.178154266(10) \times E \quad (1)$$

Şekil 1’deki O-C diyagramından da görüleceği üzere sistemin büyük ölçekli yörünge dönemi değişimi gösterdiğine dair herhangi bir iz bulunmamaktadır.

[Kozyreva vd. \(2015, 2016\)](#), sadece Kepler gözlemlerinden hesapladıkları birinci minimum zamanlarıyla gerçekleştirdikleri zamanlama analizleri sonucunda, sistemin etrafında ≈ 7 yıl yörünge dönemi ile dolanan $4 M_{\text{Jüp}}$ kütleli bir dev gezegenin varlığını öne sürmüşlerdi. Aynı araştırmacılar, daha sonra TESS gözlemlerinden elde ettikleri birinci minimum zamanlarını katarak çalışmalarını tekrarlamışlar ve olası gezegen (FL Lyr b) için yörünge dönemini 22 yıl ve kütle değerini $6 M_{\text{Jüp}}$ olarak güncellemişlerdi ([Kozyreva vd. 2023](#)). Bu gezegen bileşeni doğrulamak ve olası başka gezegen bileşenlere dair

¹ <https://diffractionlimited.com/product/maxim-dl/>

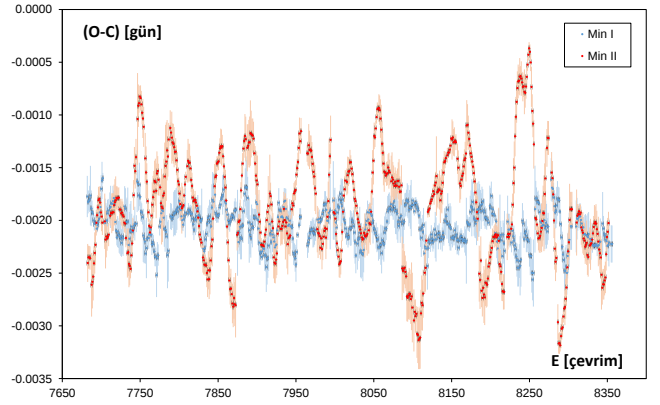


Şekil 1. FL Lyr'in tüm minimum zamanları için oluşturulan O-C diyagramı. Kırmızı doğru ışık elemanlarına bu çalışmada yapılan doğrusal düzeltmeyi temsil etmektedir.

kanıt bulmak amacı ile, yaklaşık dört yıllık zaman aralığına kesintisiz dağılan Kepler minimum zamanlarından oluşan O-C diyagramı (bkz. Şekil 2) tarafımızdan analiz edilmiştir. Bu O-C diyagramını oluşturan minimum zamanları, mevcut olduğu sürece Kepler SC verisinden, aksi takdirde Kepler LC verisinde 5 yörünge çevriminde bir birleştirilmiş minimum profillerinden (normal minimum) tarafımızca hesaplanmıştır. Şekil 2'deki O-C diyagramında, her artışı bir azalışın takip ettiği yarı-düzenli çevrimsel bir değişim yapısının, zıt fazlı olmak üzere hem I. Minimum hem de II. Minimum verilerinde var olduğu izlenmektedir. Bu yapının gerçek mi yoksa verideki gürültüden mi kaynaklandığını tespit etmek amacıyla PERIOD04 programı (Lenz ve Breger 2005) ile Min I ve Min II verilerdeki dönem karakteristikleri analiz edilmiş ve her iki minimum türü için de benzer çoğul dönemli karakteristiklerin ($P_1 \approx 220$ gün ve $P_2 \approx 120$ gün) var olduğu ortaya konmuştur. Bunun dışında FL Lyr'in O-C diyagramında başka herhangi bir çevrimsel değişime (Kozyreva vd. (2023)'nin önerdiği de dahil) rastlanmamıştır.

3.2 UZ Lyr

UZ Lyr'in 1920-2024 yılları arasında 104 yıl zaman aralığını kapsayan 2071 adet minimum zamanı için oluşturduğumuz O-C diyagramı Şekil 3'a da görülmektedir. Genel karakter olarak iki farklı değişim yapısı hemen göze çarpmaktadır ve her ikisi de belirgin çevrimsel değişim yapısı göstermektedir. Borkovits vd. (2016) büyük genlik ve uzun dönemli görünen değişimi, O-C diyagramına uyguladıkları kübik bir yaklaşımla elimine etmiş ve sadece düşük genlikli ve kısa dönemli görünen değişim yapısını sisteme fiziksel olarak bağlı üçüncü bir cismin varlığı altında modellemişlerdir. Kübik terim için herhangi bir yorumda bulunmamışlardır. Roobiat ve Pazhouhesh (2022) ise O-C diyagramında görülen her iki çevrimsel değişimi, sisteme fiziksel

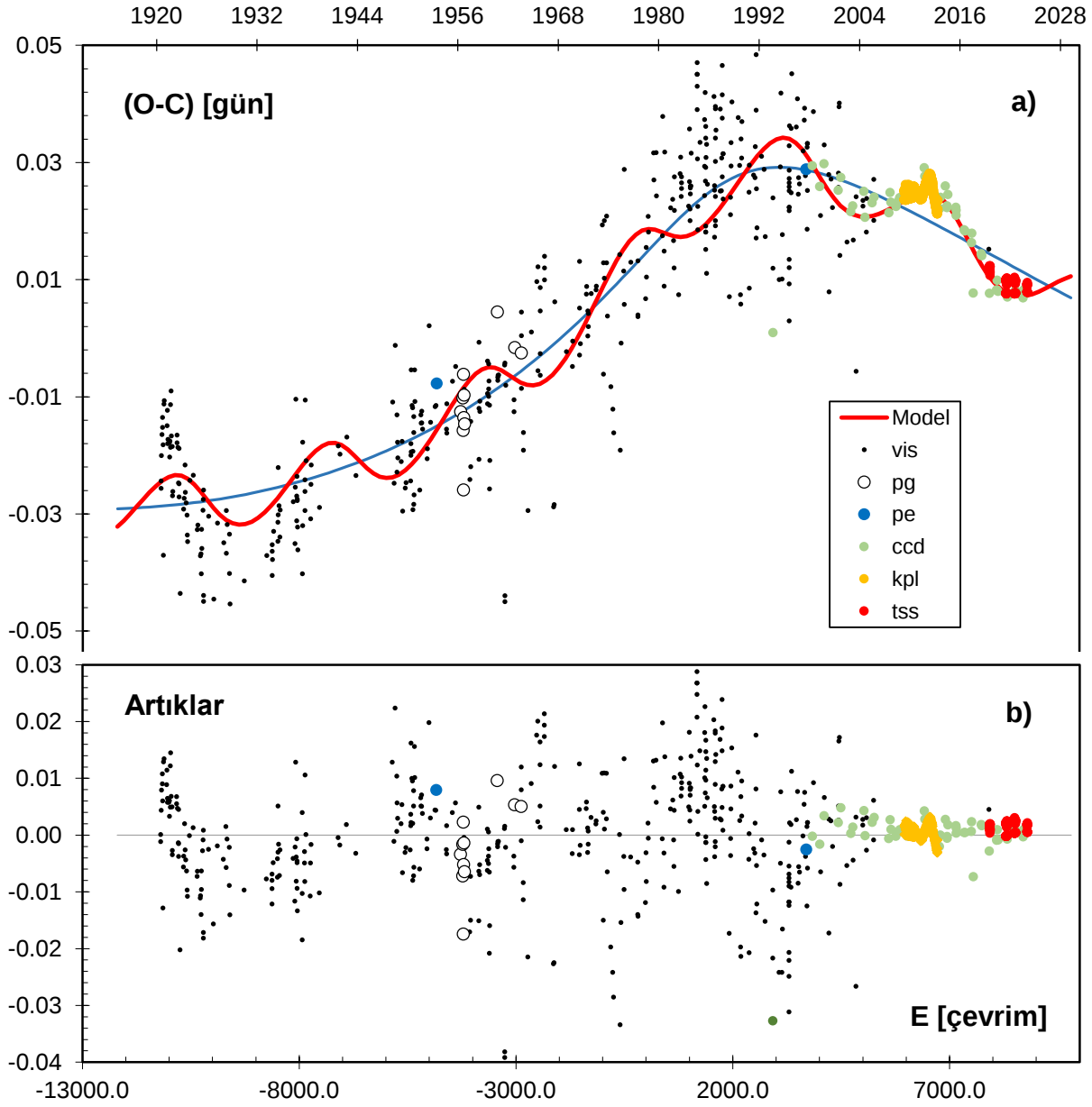


Şekil 2. FL Lyr'in sadece Kepler minimum zamanları için oluşturulan O-C diyagramı.

olarak bağlı ilave cisimlerin yarattığı ışık-zaman etkisi (LTTE) kabulü altında modellemişlerdir.

Borkovits vd. (2016) ile Roobiat ve Pazhouhesh (2022)'in çalışmalarından bu yana biriken yeni gözlem verisiyle UZ Lyr'in ETV analizi çalışmasının güncellenmesi amaçlanmış ve O-C diyagramında izlenen iki çevrimsel yapı için, iki ayrı ilave cismin yarattığı ışık-zaman etkisi kabulü altında O-C diyagramına ETV analizi gerçekleştirilmiştir.

Analiz sırasında, bir lineer terim, bir kuadratik terim ve Irwin (1952)'in formülasyonunu temel alan LTTE terimlerinden (en fazla iki LTTE terimi) oluşma ışık elemanları modelini O-C verisine uyumlayan bir Python kodu (Bahar ve Şenavcı, 2024, özel iletişim; bkz. Teşekkür) kullanılmıştır. Kod, çözümleyici (solver) olarak LMFIT Python kütüphanesini kullanmaktadır.



Şekil 3. a) UZ Lyr'in tüm minimum zamanları için oluşturulan O-C diyagramı. Kırmızı renkli sürekli eğri uyumlanan ETV modelini temsil etmektedir. b) ETV modelinden olan artıklar.

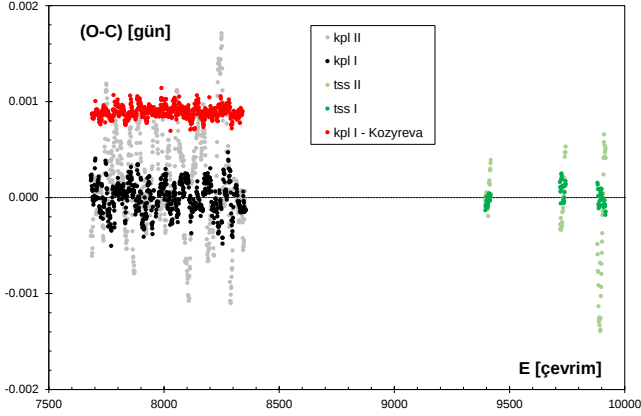
LMFIT, doğrusal olmayan en küçük kareler minimizasyonu ile "Eğri Uyumlaması" yapan iteratif bir algoritmaya sahiptir ve uyumlanan model için hesapladığı parametrelerin belirsizlikleri (hatalarını) ko-variyan matrisi üzerinden hesaplamaktadır. UZ Lyr için, bir lineer terim ile iki çevrimsel yapının (LTTE) toplamından oluşan ışık elemanları modeli, gözlenen O-C değişimine uyumlanmış ve çevrimsel değişimin biri için yarı-genlik $A_3=0.005\pm0.001$ gün ve dönem $P_3=18.2\pm0.9$ yıl olarak tespit edilirken, diğer çevrimsel değişim için yarı-genlik $A_4=0.029\pm0.09$ gün ve dönem $P_4=201.4\pm5.9$ yıl olarak bulunmuştur. O-C verisi, minimum zamanlarının belirleme hataları ile ağırlıklandırılmıştır.

İki çevrimsel değişim ve bir lineer terimin bileşkesinden oluşan O-C modelimiz Şekil 3a'da kırmızı renkli sürekli eğri ile temsil edilmektedir. Şekil 3a'daki mavi sürekli eğri ise

uzun dönemli çevrimsel değişim ile lineer terimin bileşkesini temsil etmektedir. Şekil 3b'de ise O-C modelinden olan artıklar görülmektedir.

4 Sonuç ve Tartışma

FL Lyr'in sadece Kepler verisi minimumlarından oluşturulan O-C diyagramında (Şekil 2) izlenen ve I. ve II. minimumlar arası zıt fazlı, aynı dönemli karakteristik çevrimsel yapılar Tran vd. (2013) tarafından detaylı olarak çalışılmış ve çift sistemlerdeki soğuk bileşen üzerinde yer alan yıldız lekelerinin aktivitesinden kaynaklandığı kanıtlanmıştır. Bu yapılar Kepler ve TESS fotometrik verilerinin parlaklık ve zamanda sahip oldukları yüksek hassasiyet sayesinde O-C diyagramlarında görünür olabilmektedir. Dolayısıyla, Şekil 2'deki değişim yapısı, FL Lyr'in soğuk bileşeni üzerindeki leke(ler)den kaynaklanan



Şekil 4. FL Lyr'in sadece Kepler ve TESS minimum zamanları için oluşturulan O-C diyagramı. **Kozyreva vd. (2015, 2016, 2023)**'nin hesapladıkları Kepler I. minimum zamanlarına da karşılaştırma için yer verilmiştir.

tipik bir manyetik etkinlik olgusunu işaret etmektedir. Kepler ve TESS minimumlarından oluşturduğumuz O-C diyagramlarında **Kozyreva vd. (2023)**'nin önerdiği dev gezegene ait çevrimsel değişim yapısının olmadığı görülmektedir. Doğrulama için O-C diyagramımıza **Kozyreva vd. (2023)**'nin Kepler I. minimum verileri de konmuş (bkz. Şekil 4) ve bizim verimizle gözlenen seviye farkından aslında Kepler verisine BJD-HJD dönüşümünü yapmadıkları ortaya çıkarılmıştır. Dolayısıyla, sadece Kepler ve TESS I. minimumlarına dayandırarak önerdikleri dev gezegen aslında mevcut değildir ve literatüre geçen FL Lyr b kayıtlarının ilgili veri tabanlarından ([arşiv1](#), [arşiv2](#)) çıkarılması gerekmektedir.

UZ Lyr'in ETV analizi sonucu, sisteme fiziksel olarak bağlı olduğu düşünülen ilave iki cisim için hesaplanan temel parametreleri Çizelge 4'de, daha önce literatürde yer alan **Borkovits vd. (2016)** ile **Roobiat ve Pazhouhesh (2022)**'in benzer çalışma sonuçları ile beraber karşılaştırmalı olarak listelenmiştir. Çizelgede, ($j=3,4$ ilave bileşenleri nitelemek üzere) P_j ilave bileşenin yörünge dönemini, e_j ilave bileşenin yörünge basıklığını, ω_j ilave bileşen yörüngesinin enberi noktasının argümanını, $T_{0,j}$ ilave bileşenin yörüngesinin enberi noktasından herhangi bir geçiş zamanını, $a_{12,j} \sin i$ örten çiftin ilave cisim ile oluşturduğu ortak kütle merkezine olan izdüşüm uzaklığını, $f(M_j)$ ilave cismin kütle fonksiyonunu ve $M_{j,min}$ ilave cisim için hesaplanan en düşük kütle değerini temsil etmektedir. UZ Lyr'in ETV analizi sonuçları ön bulgular düzeyinde olup detaylı çalışmamız devam etmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan Kepler ve TESS uzay teleskopları verisi Mikulski Archive for Space Telescopes (**MAST**) veritabanından sağlanmıştır. Bu çalışmada bibliyografik veri erişiminde NASA's Astrophysics Data System (**NASA-ADS**) veritabanı kullanılmıştır. AT, BİDEB 2210-A Yurt İçi Yüksek Lisans Burs Programı kapsamında sağladığı destek için TÜBİTAK'a teşekkür eder. AT ve SOS, bu çalışmaya sağladıkları yazılım desteklerinden dolayı Prof. Dr. H. V. ŞENAVCI'ya ve Arş. Gör. Dr. E. BAHAR'a teşekkür eder.

Çizelge 4. UZ Lyr'in O-C diyagramının iki LTTE ile modellenmesi sonucunda elde edilen ilave cisim parametreleri.

Parametre	Borkovits vd. (2016)	Roobiat ve Pazhouhesh (2022)	Bu çalışma
P_3 (yıl)	15.14	23.14(2)	18.2(9)
e_3	0.46(3)	0.06(2)	0.160(22)
ω_3 (°)	242(9)	63(2)	150(17)
$T_{0,3}$ (HJD)	2455955(153)	2447473(2524)	2444040(197)
$a_{12,3} \sin i$ (AB)	0.637(32)	13.645(17)	0.90(9)
$f(M_3)$	0.0011(2)	0.0013875(2)	0.0021(1)
$M_{3,min}$ ($M_\odot$)	0.17	0.31494(13)	0.37(1)
P_4 (yıl)	—	360(85)	201.43(5.90)
e_4	—	0.60(11)	0.55(12)
ω_4 (°)	—	56(6)	54.4(12.1)
$T_{0,4}$ (HJD)	—	2446644(874)	2446509(1252)
$a_{12,4} \sin i$ (AB)	—	88.344(21)	5.40(9)
$f(M_4)$	—	0.005990(9)	0.0038(4)
$M_{4,min}$ ($M_\odot$)	—	0.55187(29)	0.45(2)

Kaynaklar

- Ahnert P., 1973, Mitteilungen Über Veränderliche Sterne, 6, 112
Bahar E., Şenavcı H.V., Baştürk Ö., 2015, ASP Conference Series, vol:496, pp.288-289
Borkovits T., Hadju T., Sztakovics J., Rappaport S., Levine A., Bíró B., Klagyivik P., 2016, MNRAS, 455, 4136
Botsula R.A., 1978, Peremennye Zvezdy, 20, 588
Cester B., Fedel B., Giuricin G., Mardirossian F., Mezzetti M., Predolin F., 1979, Memorie della Societa Astronomica Italiana, 50, 553
Cristaldi S., 1965, Memorie della Societa Astronomica Italiana, 36, 77
Eaton H.O., 1920, Popular Astronomy, 28, 62
Freiboes-Conde H., Herczeg T., 1973, A&AS, 12, 1
Gies D.R., Williams S.J., Matson R.A., Guo Z., Thomas S.M., Orosz J.A., Peters G.J., 2012, AJ, 143, 137
Gies D.R., Matson R.A., Guo Z., Lester, K.V., Orosz J.A., Peters G.J., 2015, AJ, 150, 178
Helminiak K.G., Ukita N., Kambe E., Kozłowski S.K., Sybilski P., Maehara H., Ratajczak M., Konacki M., Pawłaszek R.K., 2017, MNRAS, 468, 1726
Helminiak K.G., Konacki M., Maehara H., Kambe E., Ukita N., Ratajczak M., Pigulski A., Kozłowski S.K., 2019, MNRAS, 484, 451
Irwin J.B., 1952, ApJ, 116, 211
Kirk B., Conroy K., Prsa A., vd., 2016, AJ, 151, 68
Koch R.H., Wood F.B., Florkowski D.R., Oliver J.P., 1979, IBVS, 1709
Kozyreva V.S., Bogomazov A.I., Demkov B.P., Zotov L.V., Tutukov A.V., 2015, Astronomy Reports, 59, 1036
Kozyreva V.S., Bogomazov A.I., Demkov B.P., Zotov L.V., Tutukov A.V., 2016, Astronomy Reports, 60, 534
Kozyreva V.S., Bogomazov A.I., Demkov B.P., Zotov L.V., Tutukov A.V., 2023, Astronomy Reports, 67, 483
Kreiner J.M., 1971, Acta Astron., 21, 365
Kreiner J.M., Ziolkowski J., 1978, Acta Astron., 28, 497
Kwee K.K., Van Woerden H., 1956, Bull. Astron. Inst. Netherlands, 12, 327
Laos S., Stassun K.G., Mathieu R.D., 2020, ApJ, 902, 107
Lenz P., Breger M., 2005, Comm. in Asteroseismology, 146, 53
Matson R.A., Gies D.R., Guo Z., Williams S.J., 2017, AJ, 154, 216
Morgenroth O., 1935, Astron. Nachr., 255, 425
Molenda-Zakowicz, Frasca A., Latham D.W., Jerzykiewicz M., 2007, Acta Astron., 57, 301

- Popper D.M., Lacy C.H., Frueh M.L., Turner A.E., 1986, AJ, 91, 383
Prsa A., Batalha N., Slawson R.W., vd., 2011, AJ, 141, 83
Rafert J.B., 1982, PASP, 94, 485
Roobiat K.Y., Pazhouhesh R., 2022, Research in A&Ap, 22, 025013
Stolle-McAllister G., Muirhead P., Walker G., Han E., 2020, Bulletin of the American Astronomical Society, Vol.52, No.1, p.185
Struve O., Horak H.G., Canavaggia R., Kourganoff V., Colacevich A., 1950, ApJ, 111, 658
Tran K., Levine A., Rappaport S., Borkovits T., Csizmadia Sz., Kalomeni B., 2013, ApJ, 774, 81
Vesper D., Honeycutt K., Hunt T., 2001, AJ, 121, 2723
Windemuth D., Agol E., Ali A., Kiefer F., 2019, MNRAS, 489, 1644

Access:

M25-0373: [Turkish J.A&A](#) — Vol.6, Issue 3.