

FL Lyr ve UZ Lyr Örten Çift Yıldızlarının ETV Analizleri

Anıl TEMELCİ^{1,2} (temelcia13@gmail.com), Selim Osman SELAM^{1,2} (selam@science.ankara.edu.tr)

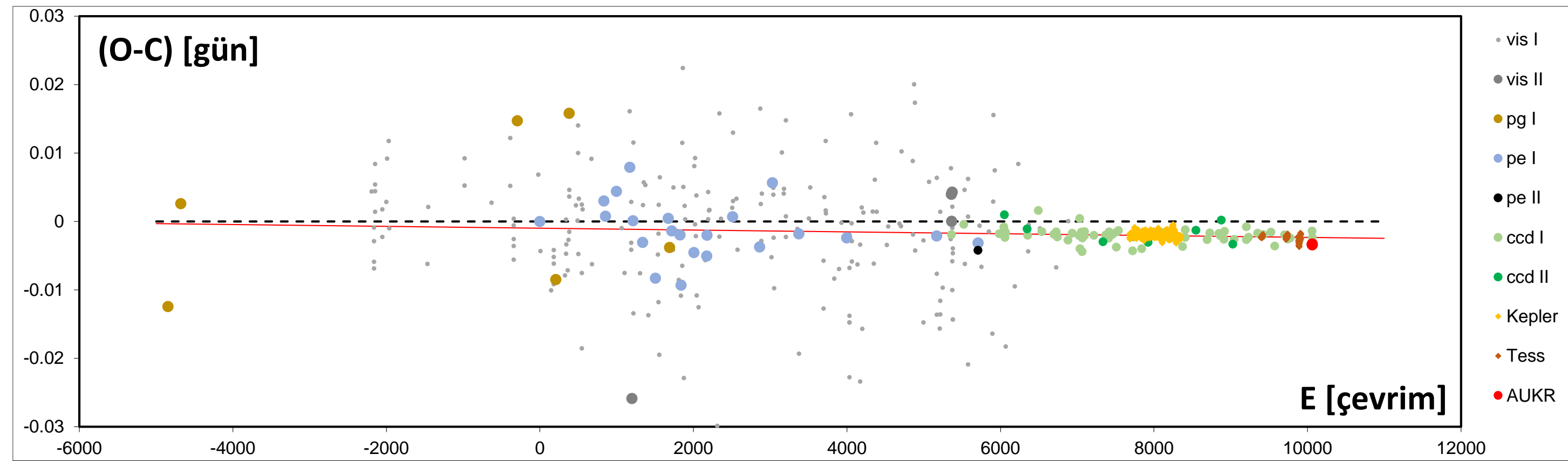
¹Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Döğol Caddesi, 06100 Tandoğan, Ankara
²Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi, İncek Bulvarı, 06837 Ahlatlıbel, Ankara

FL LYR

Sistemin literatürdeki tüm minimum zamanları (HJD) toplanmış (222 görsel, 6 fotografik, 23 fotoelektrik, 78 CCD, toplam: 329 adet), TESS ve KEPLER uydu gözlemlerinden minimum zamanları, Kwee-van Woerden (1956) yöntemini baz alan Xtrema yazılımı (Bahar vd. 2015) kullanılarak hesaplanmış (TESS 163, KEPLER 1234, toplam: 1397 adet) ve BJD-HJD dönüşümü yapılmış, ayrıca Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi (AUKR) T35 teleskobundan elde edilen fotometrik gözlemlerden 2 adet yeni CCD minimum zamanı üretilmiştir. Böylece veri setimiz, 1935-2024 yılları arasında 89 yıl zaman aralığına dağılmış toplam 1728 adet minimum zamanı içermekte olup, ilgili (O-C) diyagramı Şekil 1'de görülmektedir. Sistemin O-C Gateway'den (<http://var2.astro.cz/ocgate/>) alınan ışık elemanları için, görece yüksek belirleme hassasiyetine sahip KEPLER ve TESS birinci minimumları kullanılarak doğrusal düzeltme uygulanmış ve aşağıdaki güncel ışık elemanları hesaplanmıştır:

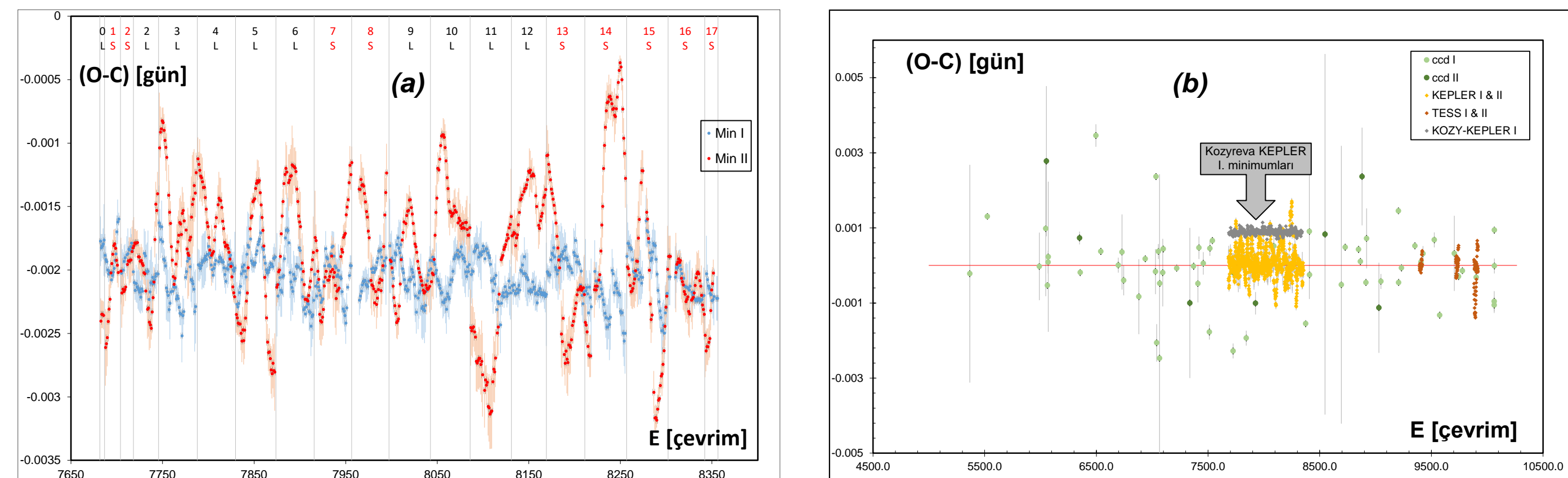
$$\text{Min I} = \text{HJD } 2438221.55150 + 2.178154266 \times E$$

$\pm 8 \qquad \qquad \qquad \pm 10$



Şekil 1. FL Lyr sisteminin (O-C) diyagramı. Kırmızı renkli doğru, ışık elemanları düzeltmesi için uygulanan doğrusal uyumlama'yı göstermektedir.

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), KEPLER gözlemlerinden elde ettikleri birinci minimum zamanlarını kullanarak gerçekleştirdikleri zamanlama analizleri sonucunda sistemin etrafında 7 yıl yörünge dönemi ile dolanan 4 M_J kütleli bir dev gezegenin varlığını öne sürmüşlerdir. Aynı araştırmacılar (Kozyreva vd., 2023) 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_J olarak güncellemişlerdir. Bu gezegen bileşeni doğrulamak ve olası başka gezegen bileşenlere dair kanıt bulmak amacı ile, kesintisiz yaklaşık 4 yıllık zaman aralığına dağılan KEPLER minimum zamanlarından oluşan (O-C) diyagramı (bkz Şekil 2a) tarafımızdan analiz edilmiştir. Bu (O-C) diyagramını oluşturan minimum zamanları, mevcut olduğu sürece KEPLER-Short Cadence verisinden, aksi takdirde KEPLER-Long Cadence verisinde 5 yörünge çevriminde bir birleştirilmiş minimum profillerinden (normal minimum) hesaplanmıştır.



Şekil 2. (a) KEPLER gözlemlerinden hesaplanan minimum zamanları ile oluşturulan (O-C) diyagramı. (b) Sadece yer tabanlı CCD, KEPLER ve TESS minimum zamanları ile oluşturulan (O-C) diyagramı, Kozyreva vd. (2015, 2016, 2023)'nin yayınladıkları KEPLER I minimumları da yer almaktadır.

Şekil 2a'daki (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 & Breger, 2005) ile Min I ve Min II verilerdeki dönem karakteristikleri

ÖZET FL Lyr ve UZ Lyr sistemleri, klasik Algol türü (EA) örten çift yıldız sistemleridir. Bu çalışmada, her iki çift sistemin yörünge döneminde daha önceden ortaya konan değişimlerin yapısını anlamak ve güncel gözlem verileri ile yeniden ele almak üzere, minimum zamanlarından elde edilen (O-C) diyagramları kullanılarak Tutulma Zamanlaması Değişimi (ETV) analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizde, TESS ve KEPLER uydu gözlemlerinden hesaplananlar ile yer tabanlı CCD, fotoelektrik, fotoğrafik, ve görsel gözlemlerden üretilen minimum zamanlarının yanı sıra Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi T80 ve T35 teleskoplarından elde edilen gözlemlerden hesaplanan minimum zamanları kullanılmıştır.

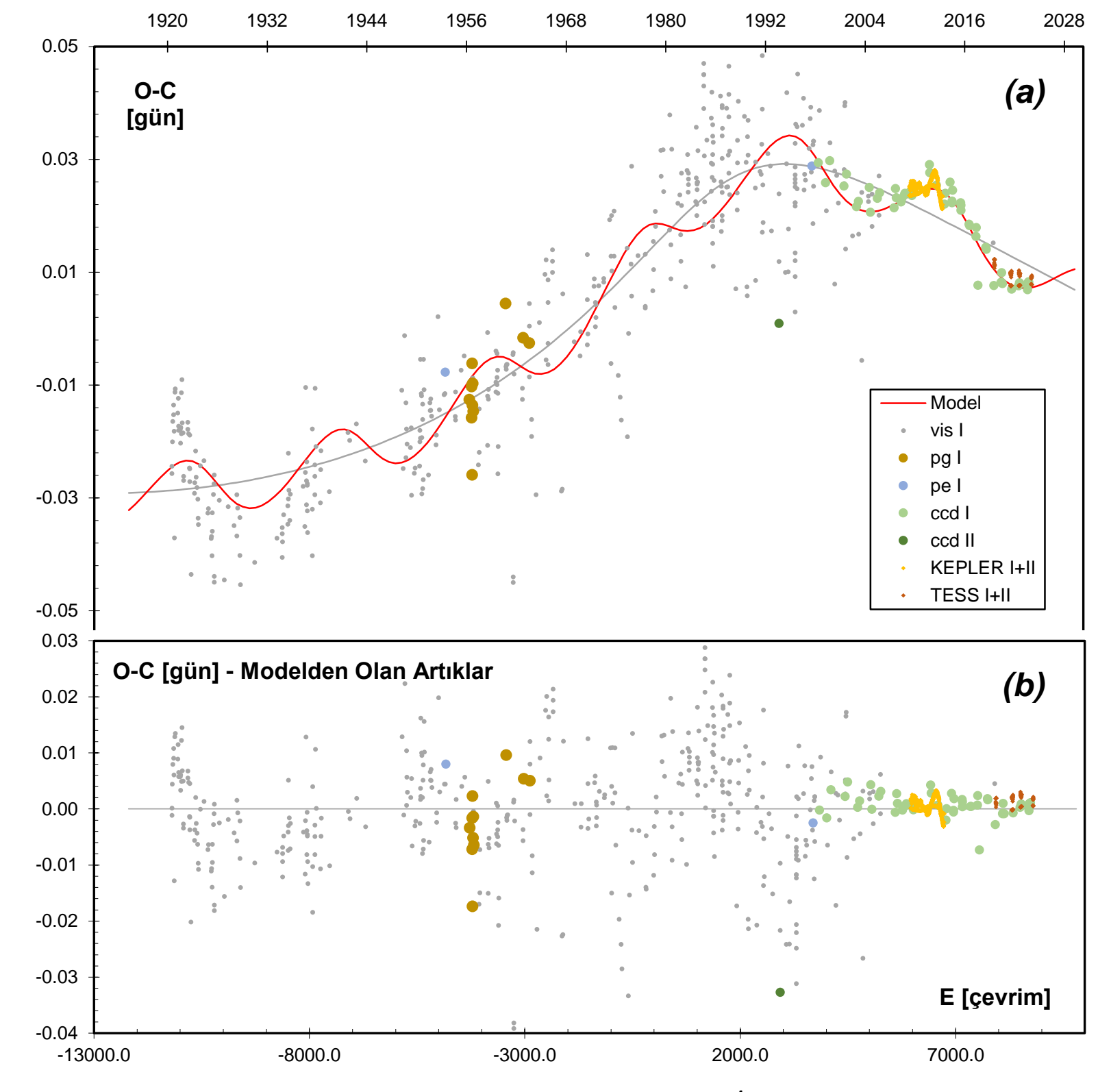
analiz edilmiş ve her iki minimum türü için de benzer çoğul dönemli karakteristiklerin (P₁~220 gün ve P₂~120 gün) var olduğu ortaya konmuştur. (O-C) diyagramlarında izlenen bu karakteristik yapılar Tran vd. (2013) tarafından detaylı olarak çalışılmış ve çift sistemlerdeki soğuk bileşen üzerinde yer alan yıldız lekelerinin aktivitesinden kaynaklandığı kanıtlanmıştır. Dolayısıyla, Şekil 2a'daki değişim yapısı, FL Lyr'in soğuk bileşeni üzerindeki leke(ler)den kaynaklanan 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. Min verileri de konmuş (bkz. Şekil 2b) 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 (exoplanet.eu, openexoplanetcatalogue.com) çıkarılması gerekmektedir.

UZ LYR

Sistemin literatürdeki tüm minimum zamanları (HJD) toplanmış (412 görsel, 11 fotografik, 2 fotoelektrik, 54 CCD, toplam: 479 adet), TESS ve KEPLER uydu gözlemlerinden minimum zamanları, Kwee-van Woerden (1956) yöntemini baz alan Xtrema yazılımı (Bahar vd. 2015) kullanılarak hesaplanmış (TESS 159, KEPLER 1433, toplam: 1592 adet) ve BJD-HJD dönüşümü yapılmış, ayrıca Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi (AUKR) T80 ve T35 teleskoplarından elde edilen fotometrik gözlemlerden 4 adet yeni CCD minimum zamanı üretilmiştir. Böylece veri setimiz, 1920-2024 yılları arasında 104 yıl zaman aralığına dağılmış toplam 2071 adet minimum zamanı içermekte olup, ilgili (O-C) diyagramı Şekil 3a'da görülmektedir. Borkovits vd. (2016) ile Roobiat ve Pazhouhesh (2022) tarafından (O-C) diyagramında görülen çevrimsel değişimler, ilave cisimlerin yarattığı ışık-zaman etkisi (LTTE) kabulü altında modellenmiştir. Onların çalışmalarından bu yana biriken yeni verilerle bu analiz çalışmasının güncellenmesi amaçlanmıştır ve O-C diyagramında izlenen iki çevrimsel yapı için, iki ayrı ilave cismin yarattığı ışık-zaman etkisi kabulü altında O-C diyagramı analiz edilmiştir. Analiz sırasında, Irwin (1952)'nin LTTE formülasyonunu temel alan ve Dr. Engin Bahar ile Prof. Dr. Hakan V. ŞENAVCI tarafından geliştirilen bir Python kodu kullanılmış olup kendilerine teşekkür ederiz. İlave iki cismin parametrelerine ilişkin ön bulgularımız Tablo 1'de, daha önce literatürde yer alan çalışmaların sonuçları ile beraber listelenmiştir. Bu çalışmamız devam etmekte olup yüksek lisans öğrencisi Anıl Temelci'nin yüksek lisans tezinin bir kısmını oluşturmaktadır.

Tablo 1. (O-C) diyagramının iki LTTE ile modellenmesi ile elde edilen ilave cisim parametreleri

Parametre	Borkovits vd. (2016)	Roobiat ve Pazhouhesh (2022)	Bu Çalışma
P ₃ [yıl]	15.14	23.140(20)	201.43
e ₃	0.46(3)	0.06(2)	0.55(12)
ω ₃ [°]	242(9)	63(2)	54.42(12.11)
T _{0,3} [HJD]	2455955(153)	2447473(2524)	2446509
a _{12,3} sin i [AB]	0.637(32)	13.645(17)	5.397
f(M _J)	0.0011(2)	0.0013875(2)	0.0038
M _{3,min} [M _J]	0.17	0.31494(13)	0.45
P ₄ [yıl]	—	360(85)	18.20
e ₄	—	0.60(11)	0.160(22)
ω ₄ [°]	—	56(6)	150.33(17.24)
T _{0,4} [HJD]	—	2446644(874)	2444040
a _{12,4} sin i [AB]	—	88.344(21)	0.896
f(M _J)	—	0.005990(9)	0.0021
M _{4,min} [M _J]	—	0.55187(29)	0.37



Şekil 3. (a) UZ Lyr için oluşturulan (O-C) diyagramı, (b) iki LTTE ile modellenen (O-C) diyagramı verilerinin modelden gösterdikleri artıkları.

Kaynaklar

Bahar E., vd., 2015, ASPC, 496, 288 | Borkovits T., vd., 2016, MNRAS, 455, 4136 | Irwin J.B., 1952, ApJ, 116, 211 | Kozyreva V.S., vd., 2015, ARep, 59, 1036 | Kozyreva V.S., vd., 2016, ARep, 60, 53 | Kozyreva V.S., vd., 2023, ARep, 67, 483 | Kwee K.K., van Woerden H., 1956, BAN, 12, 327 | Roobiat K.Y. ve Pazhouhesh R., 2022, RAA, 22, 25013 | Tran K., vd. 2013, ApJ, 774, 81 |