






Kataklizmik Değişen DW UMa'nın Gezegen Barındırma Potansiyeli

Eylül Demir¹ *, Özgür Baştürk¹ , Ekrem Murat Esmer¹ ,
Hakan Volkan Şenavcı¹ , Engin Bahar¹ 

¹ Ankara Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Tandoğan, TR-06100, Ankara, Türkiye

Accepted: December 21, 2022. Revised: December 21, 2022. Received: November 13, 2022.

Özet

Evrimleşmiş bir altcüce ya da beyaz küce ile bir M kücesinden oluşan örten çiftler kısa yörünge dönemleri, hızlı geçilen, simetrik, V-şeklindeki minimum profilleri nedeniyle hassas tutulma zamanlarının belirlenmesi için ideal sistemlerdir. Tutulma zamanlarındaki değişimin incelenmesi sonucu sisteme kütle çekimle bağlı birinci nesil ya da sistemin evrimi sırasında bileşenlerden birinin kaybettiği materyalden kaynaklı birikim disklerinde oluşabilecek ikinci nesil ötegezegenlerin neden olabileceği ışık-zaman etkisi tespit edilebilir. Bugüne kadar bu yöntemle yapılan ötegezegen keşiflerinin çok büyük bir çoğunluğu evriminin ileri aşamalarındaki bu tür sistemlerde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada nova benzeri kataklizmik çift sistem DW UMa'nın tutulma zamanları analiz edilerek sonuçlar kütle transferi, eksen dönmesi ve ışık zaman etkisi bağlamında yorumlanmış ve tartışılmıştır.

Abstract

Eclipsing binaries of an evolved sub dwarf or white dwarf and an M dwarf are ideal systems for determining precise eclipse timings due to their short orbital periods and fast-passing, symmetrical, V-shaped minimum profiles. As a result of examining the change in eclipse times, the light-time effect that can be caused by first generation exoplanets connected to the system via gravity or second generation exoplanets that may occur in accretion disks caused by material lost by one of the components during the evolution of the system can be determined. The vast majority of exoplanet discoveries made by this method to date have been carried out in such systems at an advanced stage of evolution. In this study, the eclipse times of the nova-like cataclysmic binary system DW UMa were analyzed and the results were interpreted and discussed in the context of mass transfer, axis rotation and light time effect.

Anahtar Kelimeler: (stars:) novae; cataclysmic variables, techniques: photometric, (stars:) binaries: eclipsing

1 Giriş

Kataklizmik sistemler baş bileşeni büyük kütleli beyaz küce, yoldaş bileşeni ise M kücesinden oluşan sistemlerdir. Yoldaş bileşen tarafından beyaz küceye bir madde transferi vardır. Ancak transfer edilen bu madde doğrudan beyaz kücenin üzerine yığılmaz, öncelikle beyaz kücenin etrafında bir birikim diski oluşturur. Nova benzeri sistemler General Catalog of Variable Stars (GCVS) tanımına göre fotometrik ve tayfsal özellikleri bakımından novalara benzeyen ancak sınıflama açısından yeterince verisi bulunmayan sistemlerdir. Zaman içerisinde gözlemsel verilerin artmasıyla birlikte yeniden sınıflandırılmaları mümkündür. Bu grup içerisinde nova benzeri patlamalar gösterebilecek ancak şimdiye kadar hiç patlamaları gözlenmemiş sistemler de bulunmaktadır. DW UMa, Thorstensen ve diğ. (1991) tarafından yaptıkları tayfsal çalışma ile nova benzeri (ing. nova-like, NL) kataklizmik değişenlerin bir alt grubu olan SW Sex türü olarak sınıflandırılmış bir sistemdir. Genellikle 3–4 saatlik yörünge dönemine sahip ve fotometrik olarak diğer NL'lerden farklı olarak U-şeklinde ziyade V-şeklinde tutulma profilleri gösterirler (Knigge ve diğ. 2000).

* eyluldemir@gmail.com

DW UMa'nın çift sisteminin yörünge ve fiziksel parametreleri Araujo-Betancor ve diğ. (2003) tarafından fotometrik gözlem verilerine dayalı olarak elde edilmiştir. Bu çalışmada, çift sistemin yörünge dönemi 0.13 gün, beyaz kücenin kütlesi $0.77 M_{\odot}$ yoldaş bileşenin kütlesi ise $0.30 M_{\odot}$ olarak belirlenmiş, bileşen kütlelerinin hesabı için ise kütle oranı (q) taraması yöntemi kullanılmıştır (Çizelge 1). Sistemin en güncel zamanlama analizi ise Boyd ve diğ. (2017) tarafından 16 yıllık minimum zaman verisine dayalı olarak üçüncü cisim yaklaşımı ve manyetik etkinlik bağlamında incelenmesiyle yapılmıştır.

2 Gözlemsel Veri

Sistemin Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) Uzay Teleskobu ile 21. (21 Ocak - 18 Şubat 2020) ve 48. (28 Ocak - 28 Şubat 2022) sektörlerde elde edilen ışık eğrileri Barbara A. Mikulski Archive for Space Telescopes (MAST) arşivinden lightkurve paketi kullanılarak elde edilmiştir. TESS görüntüleri üzerinde sisteme yakın kontaminasyon kaynakları, bölgede Gaia Uzay Teleskobu tarafından tespit edilmiş kaynakların belirlenmesiyle araştırılmış; 1' içerisindeki en yakın kaynağın Gaia-g bandı parlaklığının $20^m.3$ olduğu ve fotometrinin yapıldığı açıklığı etkilemediği belirlenmiştir.

Çizelge 1. Araujo-Betancor ve diğ. (2003) tarafından hesaplanan çift sisteminin yörünge ve fiziksel parametreleri

Parametre	Değer	Hata	Birim
M_1	0.77	± 0.07	M_{\odot}
M_2	0.30	± 0.10	M_{\odot}
R_1	0.012	± 0.001	M_{\odot}
R_2	0.34	± 0.04	M_{\odot}
q	0.39	± 0.12	
i	82	± 4	$^{\circ}$
a	1.14	± 0.06	R_{\odot}

Bu kaynağın paralaks ve öz hareket değerleri de DW UMa değerlerinden önemli ölçüde farklıdır.

Bu çalışmanın temel amacı sistem parametrelerini yüksek doğruluk ve duyarlılıkla elde etmek yerine ışık eğrilerinden elde edilen tutulma zamanlarının analizi olduğundan TESS Science Processing Operations Center (SPOC) Caldwell ve diğ. (2020) tarafından geliştirilen yazılımla, aletsel problemlerin sisteme yakın diğer yıldızlar üzerindeki benzer etkileri dikkate alınarak Cotrending Basis Vectors (CBV) yardımıyla arındırıldığı Pre-search Data Conditioning Simple Aperture Photometry (PDCSAP) ışık eğrileri kullanılmıştır. Amaç minimum zaman hesabı olduğu için ışık eğrilerinin birleştirilmesine gerek duyulmamış, her bir minimum profili yeterli sayıda nokta ile örneklenerek şekilde kesilerek minimum zaman hesabı yapmak için hazır hale getirilmiştir. 21. sektör TESS ışık eğrisi örnek olarak Şekil 1'de verilmiştir. Sistemin hassas minimum zaman belirlemeye uygun V-şeklindeki tutulma profilleri açıkça görülmektedir. Minimum zamanları *xtréma* yazılımı (Bahar ve diğ. 2015) kullanılarak Kwee & van Woerden (1956) yöntemi ile hesaplanmıştır.

DW UMa sisteminin geçmişte yapılmış fotometrik gözlemlerinden belirlenen tutulma zamanları literatürden ve O-C Gateway veritabanından toplanmıştır. Gözlenen bu zamanlar (ing. observed, O) ile Boyd ve diğ. (2017) tarafından hesaplanan referans minimum zamanı ve yörünge dönemi kullanılarak hesaplanmış (ing. calculated, C) minimum zamanları arasındaki farkların (O-C), çevrim sayısına (ing. epoch, E) göre çizdirilmesiyle O-C grafiği elde edilmiştir (Şekil 2).

3 Tutulma Zamanlama Değişimi Analizi

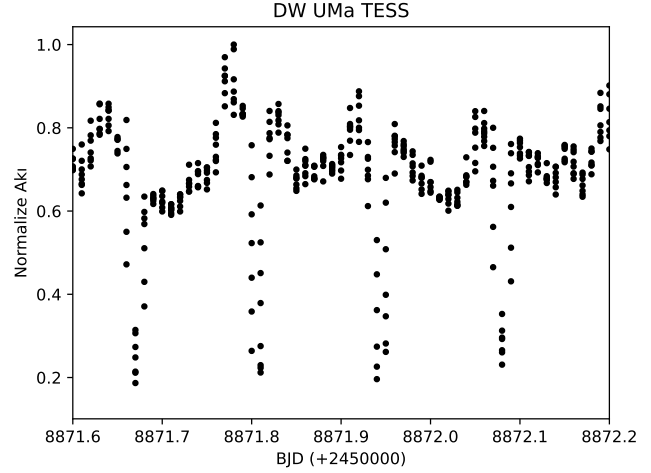
Tutulma zamanlaması değişimini incelemek için öncelikle referans ışık elemanlarının (T_0 , P) düzeltilerek yeniden belirlenmesine ihtiyaç duyulur. Bu amaçla,

$$T = \delta T_0 + E \times \delta P \quad (1)$$

yapısında bir doğru denklemi veriye uyumlanmıştır. Bu çalışmada uyumlama işlemi için Levenberg-Marquardt algoritması ile uyumlama yapan en küçük kareler yöntemine dayanan *lmfit* Python paketi fonksiyonları kullanılmıştır. Sonuç olarak referans minimum zaman ve yörünge döneminin ne kadar düzeltilmelerinin gerektiği (δT_0 , δP) belirlenmiş ve Denklem 2 ile verilen lineer efemeris elde edilmiştir.

$$T = 2451605.976745(46) + E \times 0.1366065607(11) \quad (2)$$

Özellikle kataklizmik sistemlerde seküler dönem değişimine neden olan en önemli etki kütle aktarımıdır. Kütleli küçük M-

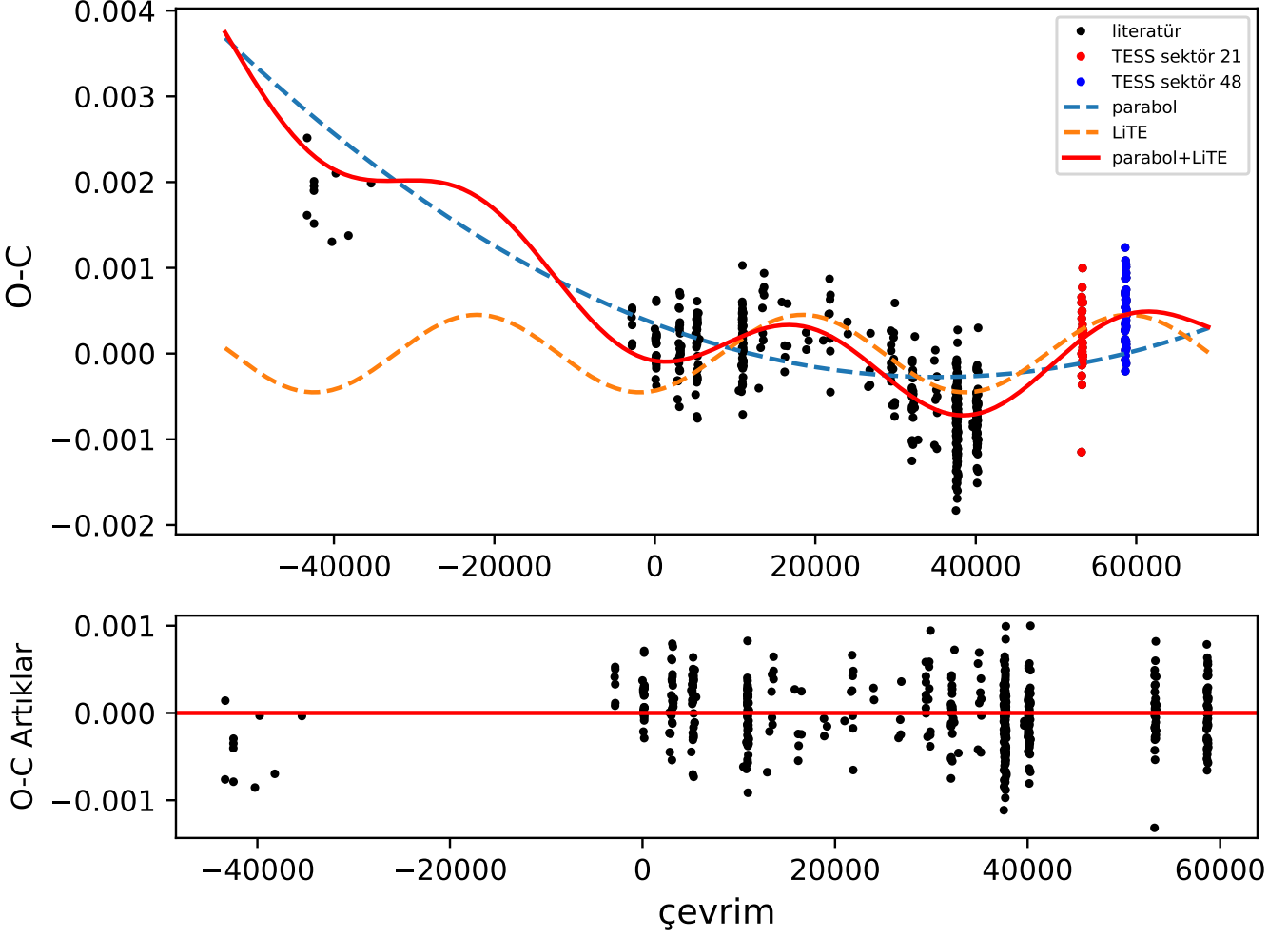
**Şekil 1.** DW UMa TESS 21. sektör PDC-SAP ışık eğrisinden bir kesit

taf türündeki bileşenden, daha büyük kütleli beyaz cüceye doğru gerçekleşen kütle aktarımı kütle oranını değiştirir. Kütle oranının değişimi ve açısal momentumun transferi ile birlikte bileşenler arası mesafe uzar ve dolayısıyla yörünge dönemi büyür. Yörünge döneminin kütle aktarımı nedeniyle değişimi O-C diyagramlarında, zamana göre türevi yörünge döneminin değişim hızını (\dot{P}) veren ikinci dereceden bir polinom (parabol) olarak gözlenir. DW UMa'nın O-C verisine yine *lmfit* kodu kullanılarak ikinci dereceden bir polinom uyumlanmış ve bu uyumlanmanın başarımını gösteren istatistikler, indirgenmiş kare değeri (χ^2_{ν}), Akaike Bilgi Kriteri (AIC) ve Bayesian Bilgi Kriteri (BIC), efemeris düzeltmesi için kullanılan doğru modelininkiyle karşılaştırıldığında, parabolik modelin veriyle daha uyumlu olduğu değerlendirilmiştir. Parabolik modelin artıklarına *astropy* Python paketi modüllerinden *lombscargle* fonksiyonları (VanderPlas 2018) kullanılarak yapılan frekans analiziyle sistemin O-C verisinde önemli bir değişim olabileceği sonucuna varılmıştır.

Söz konusu dönemli değişimin ışık-zaman etkisi (ing. Light Time Travel Effect, LiTE) kaynaklı olduğu varsayılarak Irwin (1959) tarafından verilen Denklem 3, ile birlikte bir polinom ifadesi ile birleştirilerek veriye yine *lmfit* paketi fonksiyonları kullanılarak uyumlanmıştır. Bu denklemde e yörünge dışmerkezliğini, ω enberi noktasının argümanını, ν ise gerçel anomaliyi göstermektedir. Öncelikle bileşke modelin tüm parametreleri serbest bırakılmıştır.

$$O - C = \frac{A_{LiTE}}{\sqrt{1 - e_3^2 \cos^2 \omega_3}} \left(\frac{1 - e_3^2}{1 + e_3 \cos \nu} \sin(\nu + \omega) \right) + e_3 \sin(\omega_3) \quad (3)$$

Doğrusal ve parabolik modellere göre daha başarılı uyumlama istatistikleri veren bu bileşke modelin sonuçlarında iki önemli bulguyla karşılaşmıştır. Bunlardan ilki yörünge dışmerkezlik değerinin (e) sıfıra oldukça yakın (10^{-4} mertebesinde), hatta sıfır kabul edilebilecek düzeyde olduğudur. Bir diğer önemli sonuç ise parabolik modelin kuadratik katsayısının pozitif olmasıdır. Bu durum, kütle aktarımının küçük kütleli bileşenden büyük kütleli bileşene doğru olduğu şeklinde yorumlanabilir. Kataklizmik sistemlerde sistemin büyük



Şekil 2. DW UMa'nın O-C değişimi. Literatür minimumları (siyah), TESS ışık eğrilerinden elde edilen minimum zamanları (sektör 21 kırmızı, sektör 48 mavi), parabol (mavi kesikli eğri), ışık-zaman etkisi (LiTE) (turuncu kesikli eğri) ve parabol+LiTE bileşke modelleri (kırmızı sürekli eğri) gösterilmiştir.

Çizelge 2. Çembersel yörünge kabulü altında, hatanın ilerlemesini (ing. propagation of error) önlemek amacıyla yapılan kabullerden sonraki model sonuçları (ayrıntılı bilgi için §3).

Parabol		
A	$(5.0 \pm 0.3) \times 10^{-13}$	gün çevrim ⁻²
δP	$(-3.53 \pm 0.2) \times 10^{-8}$	gün
δT	$(3.48 \pm 0.5) \times 10^{-4}$	gün
LiTE		
e	0	o
ω	0	
p	15.2 ± 0.4	yıl
A	39.06 ± 2.04	s

kütleli bileşenin beyaz cüce, daha düşük kütleli bileşenin Roche şişimini doldurarak beyaz cüceye doğru kütle aktaran bir M cücesi olduğu ve aktarılan bu kütle beyaz cüce etrafındaki birikim diskini oluşturduğu bilinmektedir (Warner 1995). Elde edilen sonuçlar ile bu teorik öngörüler tutarlı görünmektedir.

Serbest bırakıldığı durumda sıfır değerine yakınsayan

dışmerkezlilik değerinin üzerindeki belirsizlik, hatanın yayılması (ing. propagation of error) ile diğer parametreler üzerindeki belirsizlikleri arttırmaktadır. Sadece pozitif değerler alabilmesi nedeniyle veri üzerindeki belirsizlik, dışmerkezliliğin uyumlamalar sırasında serbest bırakılması durumunda mutlaka sıfırdan farklı, pozitif bir dışmerkezlilik bulunmasına neden olur. Bu nedenle dışmerkezlilik (e) sıfır değerine sabitlenmiş, bu parametre ile dejenere olan ω parametresi de sıfıra eşitlenmiş ve sabit tutulmuş ve dışmerkezlik değeri sıfır kabul edildikten sonra elde edilen model sonuçları Çizelge 2 'de verilmiştir. Parabol ve ışık zaman etkisi modeli, sistemin O-C verisinin üzerinde Şekil 2'de verilmiştir. Kolları yukarı bir parabol ile ışık-zaman etkisi kaynaklı bir sinüsoidalden oluşan bu bileşke modelin artıklarına tekrar frekans analizi yapıldığında ise herhangi bir önemliliğe rastlanmamıştır.

4 Sonuçlar

4.1 Kütle Transferi

Kataklizmik sistemlerde M türü yoldaş bileşenden sistemin büyük kütleyle sahip beyaz cücesine doğru bir kütle transferi olduğu bilinmektedir (Warner 1995). O-C değerlerine yapılan

Çizelge 3. Üçüncü cisme ilişkin **Boyd ve diğ. (2017)** tarafından hesaplanan parametreler ile tarafımızca belirlenen parametreler.

Parametre	Boyd ve diğ. (2017)	Bu çalışma
P_3 (yıl)	13.6 ± 0.4	15.2 ± 0.4
$a_3 \sin i$ (AB)	5.8	6.15 ± 0.96
$m_3 \sin i$ (M_{jup})	10.06	14.24 ± 1.35

parabolik modelin kuadratik katsayısının pozitif olması, seküler değişimin en olası ve sistemin doğasına uygun mekanizmasının kütle aktarımı olduğu fikrini desteklemektedir. Kütle aktarımı ve ışık-zaman etkisi varsayımlarıyla yapılan birleşke model sonucunda elde edilen parametre değerlerinden hareketle öncelikle parabolik modelin kuadratik katsayısının işaret ettiği çevrim başına dönem değişim miktarı (dP/dE) (1.00 ± 0.07) $\times 10^{-12}$ gün çevrim⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Bir yıldaki dönem değişim miktarı ise (dP/dt) ise $0.000231(16)$ saniye olarak bulunmuştur. Yıldaki kütle aktarım miktarı ise (3.21 ± 1.77) $\times 10^{-9} M_{\odot}$ olarak hesaplanmıştır.

4.2 Üçüncü Cisim Yaklaşımı

Bileşke modelin sinüsoidal bileşeni için öncelikle üçüncü cisim yaklaşımı yapılmıştır. Işık-zaman etkisine neden olduğu varsayılan bu ilave bileşenin kütle çekim etkisi nedeniyle DW UMa sisteminin ortak kütle merkezi etrafındaki yörüngesinin yarı büyük eksen uzunluğu Denklem 4 kullanılarak hesaplanmıştır (Irwin 1959).

$$a_{12} \sin i = \frac{A_{\text{LiTE}} * 173.15}{\sqrt{(1 - e_3^2 \cos^2 \omega)}} = 0.078 \pm 0.004 \text{ AB} \quad (4)$$

Üçüncü cismin kütlesi için minimum değere ilişkin kütle fonksiyonu ise Denklem 5 kullanılarak bulunmuştur.

$$f(m_3) = \frac{(a_{12} * \sin i)^3}{P_{\text{LiTE}}^2} = (2.08 \pm 0.35) \times 10^{-6} M_{\odot} \quad (5)$$

Kütle hesabı için Denklem 6, Newton-Raphson iterasyonu ile çözümlenerek minimum kütle ($m_3 \sin i$) değeri elde edilmiştir.

$$f(m_3) = \frac{(m_3 \sin i)^3}{(m_1 + m_2 + m_3)^2} \quad (6)$$

Son olarak ilave (üçüncü) cismin yarı büyük eksen uzunluğu bu parametrelerden hareketle Denklem 7 ile hesaplanmıştır.

$$a_3 = \frac{a_{12} * (m_1 + m_2)}{m_3} = 6.1586 \pm 0.9687 \text{ AB} \quad (7)$$

Bu denklemlerin, bu çalışma için yazılan Python betikleri yardımıyla çözümü sonucunda elde edilen üçüncü cisim parametreleri, Çizelge 3'te **Boyd ve diğ. (2017)** tarafından verilenlerle karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

5 Olası Diğer Etkiler

Özellikle kataklizmik sistemlerde beyaz cücenin sönük olması ve çevresindeki parlak disk ile yoldaş bileşenin net olarak ayırt edilememesinden dolayı, bu sistemlerde 2. minimumların gözlenmesi oldukça güçtür. Bu durum gözlemleri yapılabilecek dahi 2. minimum üzerindeki belirsizlikleri önemli ölçüde arttırmaktadır. Bu nedenle, O-C diyagramında periyodik, ancak birinci minimumlarla antikorele bir değişim görülmesine neden olan eksen dönmesi olasılığının gözlemsel testi mümkün olamamaktadır. Sistemin yaşı ve yörüngenin çemberleşme

zaman ölçeği (ing. circularization timescale) düşünüldüğünde yörüngenin çembersel olduğunu varsaymamak için neden bulunmamaktadır. Nitekim, sistemin O-C analizi de bu varsayımla gerçekleştirilmiş ve başarılı bir uyumlama elde edilmiştir. Yörüngenin çembersel kabulü aynı zamanda eksen dönmesini olasılığını da ortadan kaldırmaktadır.

Çift yıldızlarda çevrimsel dönem değişimine neden olabilecek bir diğer olgu ise manyetik etkinliktir. Applegate mekanizması (Applegate 1992) adı verilen bir mekanizma çerçevesinde manyetik etkinliğin neden olduğu dörtlü (ing. quadruple) moment değişimiyle sistemin yörünge dönemini çevrimsel olarak değiştirir. Her ne kadar evrimleşmiş sistemlerdeki yaşlı M-tayf türündeki bileşenden yüksek bir manyetik aktivite beklenirse de eş-dönem (ing. orbital synchronization) nedeniyle dönmesi hızlandırılan bu yıldızın fosil manyetik alanı tekrar etkin hale gelmiş olabilir. DW UMa sisteminin O-C değişiminin bu bağlamda değerlendirilmesi mekanizmanın daha modern modelleri (Völschow ve diğ. 2016; Lanza 2020) kullanılarak ilerideki bir çalışmada gerçekleştirilecek; yapılması planlanan yeni gözlemlere dayalı ışık eğrisi analizleri ve minimum zamanları ile de desteklenecek bir çalışmada, olası ışık-zaman etkisi modeliyle karşılaştırmalı olarak sunulacaktır.

Kataklizmik sistemlere kütleçekimle bağlı bir üçüncü cismin sebep olabileceği olası bir başka dönem değişimi mekanizması Chavez ve diğ. (2010) tarafından önerilmiştir. Bu mekanizma, üçüncü cismin çift sistemin kütle transferinin gerçekleştiği birinci Lagrange noktasının (L_1) konumunu değiştirmesi üzerine kurulmuştur. İlave cismin çift sistemin L_1 noktası üzerinde neden olacağı tedirginlik etkisi kütle transfer hızını ve buna bağlı olarak madde transferinin gerçekleştiği birikim diskinin parlaklığını da değiştirecektir. Bu parlaklık değişiminin ölçümü ile üçüncü cismin varlığı tespit edilebilir (Chavez ve diğ. 2010).

6 Tartışma

Sonuç olarak, bu çalışmada DW UMa kataklizmik sisteminde gözlenen O-C değişimine yapılan bileşik model ile sisteme kütleçekimle bağlı, 15.2 ± 0.4 yıl yörünge dönemli, $a_3 \sin i = 6.15 \pm 0.96$ AB minimum uzaklığında ve $m_3 \sin i = 14.24 \pm 1.35 M_{\text{jup}}$ minimum kütleli olması sebebiyle gezegen kütle limitleri dahilinde kabul edilebilecek bir üçüncü cismin var olabileceği değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Boyd ve diğ. (2017) tarafından yapılan O-C analizinin sonucunda önerilen üçüncü cismin kütlesi ile 3σ içerisinde dahi tutarlı görünmemekle birlikte iki çalışmada elde edilen O-C değişimlerinin dönemi 1σ dahilinde uyumludur. Diğer taraftan, Boyd ve diğ. (2017) tarafından yapılan çalışmada hassas TESS gözlemlerinin bulunmadığı O-C verisindeki genel trendin, kütle transferi varsayımı yapılmaksızın, sadece ışık-zaman etkisi varsayımıyla modellendiği belirtilmelidir. Bununla birlikte, manyetik etkinlik kaynaklı dörtlü moment değişimlerinin etkisinin yanı sıra olası üçüncü cismin sistemin L_1 noktasını tedirgin ederek neden olabileceği kütle transfer hızının değişimi kaynaklı disk parlaklığının olası değişimleri de araştırılmalıdır. Bu çalışmayı takiben sistemin çok renk ışık ölçüm gözlemlerinin elde edilmesi ve ışık eğrisi analizlerinin gerçekleştirilmesi, O-C analizlerinin de sezonluk ortalamaların da kullanılması ve yeni gözlemsel verilerin de eklenmesiyle tekrarlanması planlanmıştır. Bu analizlerde, manyetik etkinlik ve diskin uzun vadedeki olası etkilerinin de yeni modeller ışığında dikkate alınması düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Applegate J. H., 1992, *ApJ*, 385, 621
Araujo-Betancor S., ve diğ., 2003, *ApJ*, 583, 437
Bahar E., Şenavcı H. V., Baştürk Ö., 2015, in Rucinski S. M., Torres G., Zejda M., eds, *Astronomical Society of the Pacific Conference Series Vol. 496, Living Together: Planets, Host Stars and Binaries*. p. 288
Boyd D. R. S., ve diğ., 2017, *MNRAS*, 466, 3417
Caldwell D. A., ve diğ., 2020, *Research Notes of the American Astronomical Society*, 4, 201
Chavez C. E., Tovmassian G., Zharikov S., Aguilar L. A., 2010, in *AAS/Division of Dynamical Astronomy Meeting #41*. p. 3.06
Irwin J. B., 1959, *AJ*, 64, 149
Knigge C., Long K. S., Hoard D. W., Szkody P., Dhillon V. S., 2000, *ApJ*, 539, L49
Kwee K. K., van Woerden H., 1956, *Bull. Astron. Inst. Netherlands*, 12, 327, *ADS*
Lanza A. F., 2020, *MNRAS*, 491, 1820
Thorstensen J. R., Ringwald F. A., Wade R. A., Schmidt G. D., Norsworthy J. E., 1991, *AJ*, 102, 272
VanderPlas J. T., 2018, *ApJS*, 236, 16
Völschow M., Schleicher D. R. G., Perdelwitz V., Banerjee R., 2016, *A&A*, 587, A34
Warner B., 1995, *Cataclysmic variable stars*. Cambridge Astrophysics Series Vol. 28, Cambridge Press

Access:

M23-0356: *Turkish J.A&A* — Vol.4, Issue 3.