





Tutulma Zamanlaması Değişimi Yöntemi ile Keşfedilen Ötegezegen Sistemlerinin Yörünge Kararlılıkları

Ekrem Murat Esmer¹  , Özgür Baştürk¹  Selim Osman Selam,¹ 

¹ Ankara Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 06100, Türkiye

Accepted: November 14, 2022. Revised: November 9, 2022. Received: November 4, 2022.

Özet

Tutulma zamanlaması değişimi yöntemi ile keşfedilen ötegezegenlerin bulunduğu çift yıldız sistemleri çoğunlukla toplam kütleleri küçük, OB-türü altcüce veya beyaz küce baş bileşen ile düşük kütleli anakol yoldaş bileşenden oluşan yakın çift yıldızlardır. Bu sistemlerin tutulma zamanlamalarının karmaşık yapıları ve görece uzun dönemleri ile gözlemsel hatalar, bu yöntemle önerilen olası ilave cisimlerin kütle ve yörünge parametreleri üzerindeki belirsizlikleri arttırabilmektedir. Bu sebeple tutulma zamanlama değişimi yöntemi ile yapılan gezegen önerilerinin bazıları, sistemin yaşı ile karşılaştırılmayacak kısa sürelerde kararsızlaşan yörünge yapılarına karşılık gelebilmektedir. Bu çalışmada, tutulma zamanlama yöntemi kullanılarak etrafında birden fazla ötegezegen önerilmiş sistemlerin frekans harita analizi yöntemiyle yörünge kararlılık analizleri yapılmıştır.

Abstract

Most eclipsing binary systems around which exoplanets have been discovered with the eclipse timing variation technique have small total masses and host OB-type subdwarf or white dwarf primaries and low-mass main sequence secondaries. The complex nature and relatively long periods of eclipse timing variations observed in these systems, as well as the observational errors in the data, can increase uncertainties on the mass and orbital parameters of possible additional objects. For this reason, some of the planets proposed by using the eclipse timing variation method may correspond to orbital structures that become unstable in relatively short periods of time that cannot be compared with the age of the systems. In this study, orbital stability analyzes were carried out using the frequency map analysis method for the systems, which were proposed to host more than one exoplanets with the eclipse timing variation technique.

Anahtar Kelimeler: (stars:) binaries: eclipsing – (stars:) planetary systems – planets and satellites: dynamical evolution and stability

1 Giriş

Çift yıldızlarda bulunabilecek gezegen ve kahverengi cücelerin keşfi amacıyla kullanılan yöntemlerden biri tutulma zamanlama değişimi (ing. Eclipse Timing Variation, ETV) yöntemidir. Bu yöntem, olası ilave bileşenler ile çift yıldızın ortak kütle merkezi etrafındaki yörünge hareketi sebebiyle çift yıldızın ETV analizine dayanmaktadır. Bu şekilde gerçekleşen zamanlama verilerindeki çevrimsel değişim ışık-zaman etkisi ya da Römer gecikmesi olarak bilinmektedir. Bu etki analitik ifadeler (örn: Irwin 1959) ya da sayısal yörünge çözümleri ile analiz edilerek, ilave bileşenin en küçük kütlesi ve yörünge özellikleri belirlenebilir.

ETV yöntemi kullanılarak yapılan gezegen ve kahverengi küce keşifleri günümüz itibarıyla 20'yi aşkındır (Esmer ve diğ. 2022). Bu keşiflerin önemli bir bölümünde, takip eden zamanlama analizi çalışmaları önceki çalışmalardan gerek fiziksel ve yörünge özellikleri, gerek ise ilave cisimlerin sayıları açısından farklı sonuçlara (örn: NY Vir, Qian ve diğ. 2012; Lee ve diğ. 2014; Pulley ve diğ. 2016; Baştürk & Esmer 2018; Song ve diğ. 2019; Er ve diğ. 2021), bir çok çalışmada önerilen ilave cisimlerin fiziksel ve yörünge parametreleri ise kararsız yörünge mimarilerine karşılık gelmektedir (örn: Horner ve diğ. 2012, 2013; Wittenmyer ve diğ. 2013; Hinse ve diğ. 2014).

Bu gezegenleri barındırdığı düşünülen çift yıldız sistemleri

ortak zarf sonrası evrede bulunan sistemlerdir. Genellikle OB türü bir altcüce ya da beyaz küce ana bileşen ile küçük kütleli bir anakol yoldaştan oluşan bu çift yıldız sistemlerinde bulunduğu düşünülen gezegen ve kahverengi küce kütle limitlerindeki bu cisimlerin, çift yıldızın oluşum sürecinde mi (birinci nesil) ya da ortak zarf evresinde mi (ikinci nesil) oluştuğu henüz bilinmemektedir (Zorotovic & Schreiber 2013).

Bu gezegenler henüz diğer gezegen keşif yöntemleriyle de tespit edilememişlerdir. Kepler ve TESS uzay teleskoplarının düzenli gözlemlerine rağmen bu gezegenlerin bilinen bir geçiş gözlemi bulunmamaktadır (örn: Esmer ve diğ. 2022). Uzun yörünge dönemlerine sahip olmaları ve çift yıldızın sıcak bileşeninin tayftaki baskın, ancak metal çizgileri açısından fakir sinyalleri sebebiyle yeterli hassasiyette elde edilemeyen dikine hız verileri, bu yöntem ile de keşif ya da onaylanmalarını henüz mümkün kılamamıştır. ETV yöntemi dışındaki yöntemler ile henüz onaylanmış bir örnek bulunmadığından, bu cisimlerin varlığına dair soruları giderebilecek tek yöntem yörünge kararlılık analizleridir.

Bu amaç doğrultusunda bu çalışmada, ETV yöntemi ile birden çok gezegen ya da kahverengi küce önerilmiş sistemlerin literatürdeki güncel çalışmaları kullanılarak yörünge kararlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Ardından bu cisimlerin literatürde önerilen yüksek dışmerkezlik değerleri göz önünde bulundurularak, çembersel yörünge kabulü altındaki göz önünde bulundurulmuş ve dışmerkezlik parametresinin bu

* esmer@ankara.edu.tr

Çizelge 1. ETV yöntemi ile önerilen gezegen ve kahverengi cücelerin literatürden derlenen kütle, yarı-büyük eksen uzunluğu, dışmerkezlik ve enberi argümanı verileri. Referans: (1): [Esmer ve diğ. \(2021\)](#), (2): [Esmer ve diğ. \(2022\)](#), (3): [Marsh ve diğ. \(2014\)](#), (4): [Almeida ve diğ. \(2013\)](#), (5): [Lee ve diğ. \(2014\)](#), (6): [Khangale ve diğ. \(2019\)](#), (7): [Sale ve diğ. \(2020\)](#), (8): [Goździewski ve diğ. \(2015\)](#).

Gezegen	Referans	Kütle (M_{Jup})	a (AB)	e	ω ($^{\circ}$)
HW Vir b	(1)	25.10	7.90	0.45	359.0
HW Vir c	(1)	13.90	4.57	0.27	13.0
Kepler-451 b	(2)	1.86	0.90	0.33	302.0
Kepler-451 c	(2)	1.61	2.10	0.29	7.0
Kepler-451 d	(2)	1.76	0.20	0	-
NN Ser b	(3)	7.33	5.35	0.08	43.0
NN Ser c	(3)	2.30	3.43	0.19	249.0
V1828 Aql b	(4)	8.00	2.90	0.52	98.0
V1828 Aql c	(4)	2.90	1.90	0	-
NY Vir b	(5)	2.78	3.39	0	-
NY Vir c	(5)	4.49	7.54	0.44	333.0
UZ For b	(6)	10.00	5.70	0.69	120.3
UZ For c	(6)	3.22	3.00	0.45	347.4
V470 Cam b	(7)	28.30	3.27	0	-
V470 Cam c	(7)	12.40	4.71	0	-
HU Aqr b	(8)	16.80	5.48	0.23	92.3
HU Aqr c	(8)	20.80	6.38	0.08	72.6

sistemlerde kararlılığa etkisine dair çıkarımlar yapılmıştır. Son olarak, ETV analizi yönteminin uygulanmasına dair sorunlar ve olası çözümler tartışılmıştır.

2 Tutulma Zamanlama Yöntemi (ETV) ile Birden Çok Gezegen Önerilmiş Sistemler

2.1 HW Virginis

Algol türü ışık değişimi gösteren HW Virginis sistemi 0.1167 günlük yörünge dönemine sahiptir. Çift yıldız bileşenleri B türü bir altcüce ve M türü bir küce yıldızdır. Bu sistemde ETV yöntemi kullanarak gezegen varlığını öneren ilk çalışma [Lee ve diğ. \(2009\)](#) tarafından yapılmıştır. Sistemde bulunması olası gezegenlerin fiziksel ve yörünge özellikleri ile yörünge kararlılıklarına dair çeşitli çalışmalar literatürde bulunmaktadır (örn: [Beuermann ve diğ. 2012](#); [Horner ve diğ. 2012](#)).

[Esmer ve diğ. \(2021\)](#) tarafından yapılan ETV ve yörünge kararlılık çalışması ile güncel zamanlama verileri kullanılarak sistemde bulunması olası cisimlere dair yeni bir sonuç elde edilmiştir. Ancak yine aynı çalışmada yapılan yörünge kararlılık analizi sonuçlarına göre HW Virginis sisteminde bu cisimlerin kararlı yörüngeler ile var olması mümkün görülmemiştir. Benzer bir sonuç [Brown-Sevilla ve diğ. \(2021\)](#) tarafından da bulunmuştur.

2.2 Kepler-451

[Baran ve diğ. \(2015\)](#) tarafından yapılan ve *Kepler* uzay teleskobu verilerinin kullanıldığı ETV analizi ile Kepler-451 çift yıldızının etrafında 416 günlük döneme sahip bir gezegen keşfi yapılmıştır. Aynı çalışmada uzun dönemli bir değişimden bahsedilmiş, ancak *Kepler* verilerinin yeterli zaman aralığına sahip olmaması sebebiyle bu değişime dair bir çıkarım yapılamamıştır. [Esmer ve diğ. \(2022\)](#), *Kepler* ve *TESS* uzay teleskopları ile yerden yapılan gözlemlerin kullanıldığı benzer bir çalışma yapmış ve sistemde iki ilave gezegenin varlığını

ortaya koymuştur. Böylece Kepler-451 sistemi, şu ana dek ETV yöntemi ile ikiden fazla gezegen önerilmiş tek sistem olma özelliğine sahip olmuştur.

2.3 NY Virginis

Işık eğrisinde belirgin zonklama kaynaklı değişimler bulunduran bu sistem, ilk olarak [Kilkenny \(2011\)](#) tarafından yapılan ETV çalışmasından itibaren birçok benzer çalışmaya konu olmuştur (örn: [Qian ve diğ. 2012](#); [Çamurdan ve diğ. 2012](#); [Lee ve diğ. 2014](#); [Pulley ve diğ. 2016](#); [Baştürk & Esmer 2018](#); [Song ve diğ. 2019](#); [Er ve diğ. 2021](#)). NY Virginis sisteminin tarafımızca yayına hazırlanmakta olan bir çalışmadaki ETV analizi ve bu analiz sonuçlarını temel alan yörünge kararlılık analizi sonuçlarına göre, sistemde kararlı yörüngelerde bulunması olası iki yıldızaltı kütleli cismin varlığı söz konusudur. Hazırlamakta olduğumuz çalışmanın bir ön çalışması niteliğindeki yörünge kararlılık haritası Şekil 1'de (üst sol panel) görülmektedir.

2.4 Diğer Sistemler

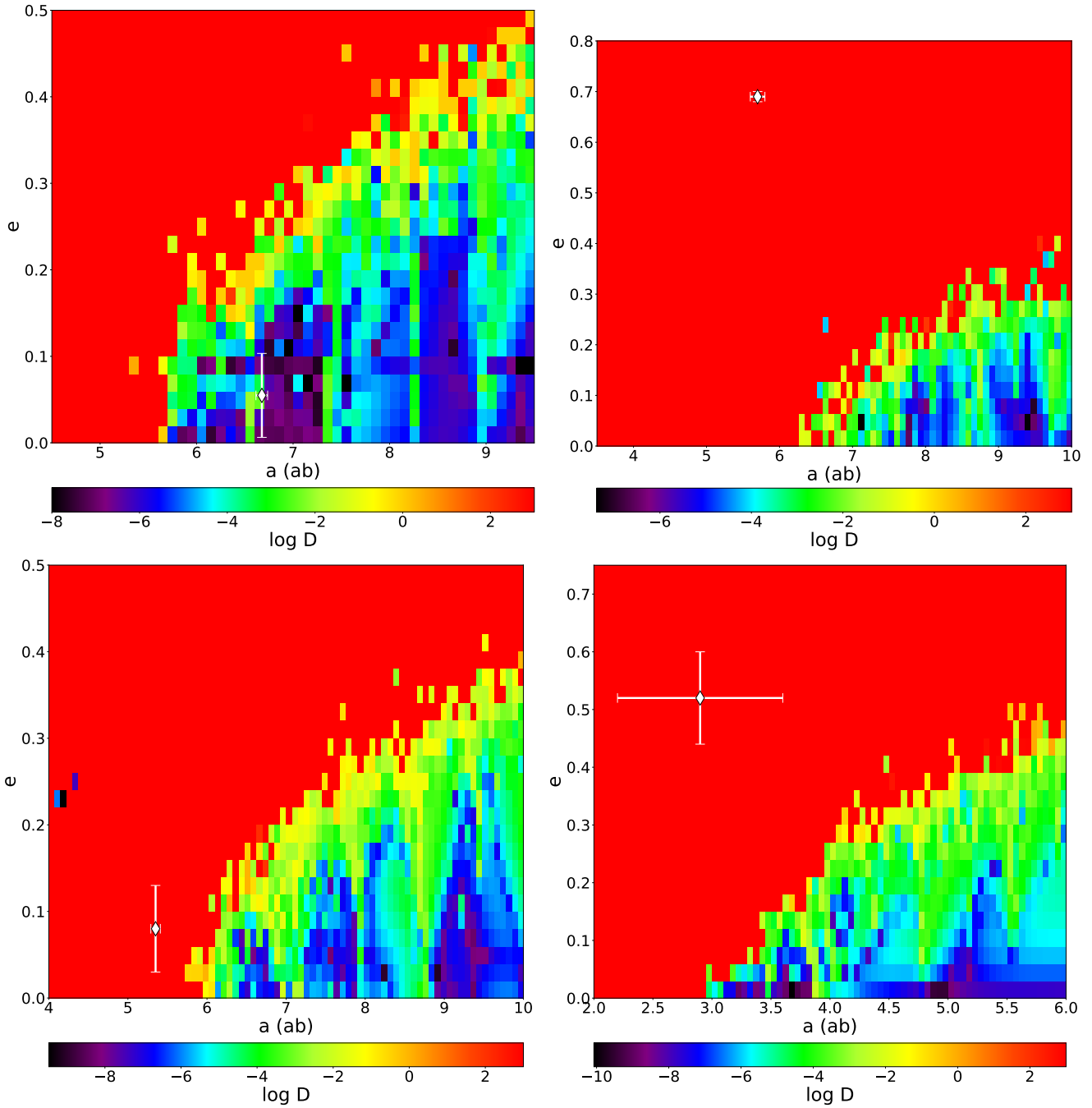
ETV yöntemi ile literatürde daha önce incelenmiş ve birden çok yıldızaltı cisim önerilmiş sistemlerdeki bu cisimlerin fiziksel ve yörünge parametreleri Çizelge 1'de bulunmaktadır. Bu parametreler, buldukları sistemlerin yörünge kararlılık analizleri yapılmak üzere kullanılmıştır. Kepler-451 sisteminin kararlı yörüngelere sahip olduğu [Esmer ve diğ. \(2022\)](#) tarafından bulunmuş olduğundan, bu çalışmadaki analizlere katılmamıştır. HW Vir sisteminin yörünge kararlılık analizi [Esmer ve diğ. \(2021\)](#) tarafından yapılmış ve kararsız bulunmuştur. İlgili çalışmada çembersel yörünge kabulü yapılmadığından, bu çalışmada HW Vir sisteminin sadece çembersel yörünge kabulü altındaki yörünge kararlılığı analizi gerçekleştirilmiştir. NY Vir sisteminin Çizelge 1'de görülen değerleri, literatürde bulunan ilgili çalışmadaki değerleri olmakla birlikte, bu çalışmadaki yörünge kararlılık analizinde kullanılan değerleri, yayına hazırlanmakta olan çalışmamızın ön sonuçlarından elde edilmiştir.

3 Yörünge Kararlılık Analizi

ETV yöntemi ile birden çok gezegen önerilmiş sistemlerin yörünge kararlılıkları frekans haritası analizi yöntemi ([Laskar 1990, 1993](#)) ile incelenmiştir. Bu yöntem, yörünge ortalama hareketini temsil eden temel frekansın belirlenerek, bu frekansın yörünge simülasyonunun ilk ve ikinci yarısındaki değişiminin tespit edilmesine dayanmaktadır. Bu değişimi temsil eden normalize kararlılık göstergesi değeri logaritmik formda $\log D < -6$ koşulunu sağladığı durumlarda yörünge kararlılığı söz konusudur ([Correia ve diğ. 2005](#)).

Kararlılık göstergesinin hesaplanacağı yörünge simülasyonları Rebound n-cisim integrasyon paketi ([Rein & Liu 2012](#)) ile yapılmıştır. Yörünge simülasyonları sonrasında ortalama hareketi temsil eden temel frekans değerleri TRIP gök mekaniği amaçlı genel cebir kodu ([Gastineau & Laskar 2011](#)) ile hesaplanmıştır.

Merkezdeki çift yıldızın yörünge dönemi, gezegenlerin yörünge dönemine göre çok daha kısa olduğundan, çift yıldız bileşenlerinin gezegen yörüngelerine bireysel dinamik etkileri ihmal edilebilir düzeydedir. Bu sebeple hesaplamalarda çift yıldız, toplam kütleyle sahip tek bir cisim olarak kabul edilmiştir. Gezegenlerin yörünge eğim açıları verisi bulunmadığından, sistemi oluşturan tüm cisimlerin eş yörünge düzleminde hareket ettikleri kabulü yapılmıştır.



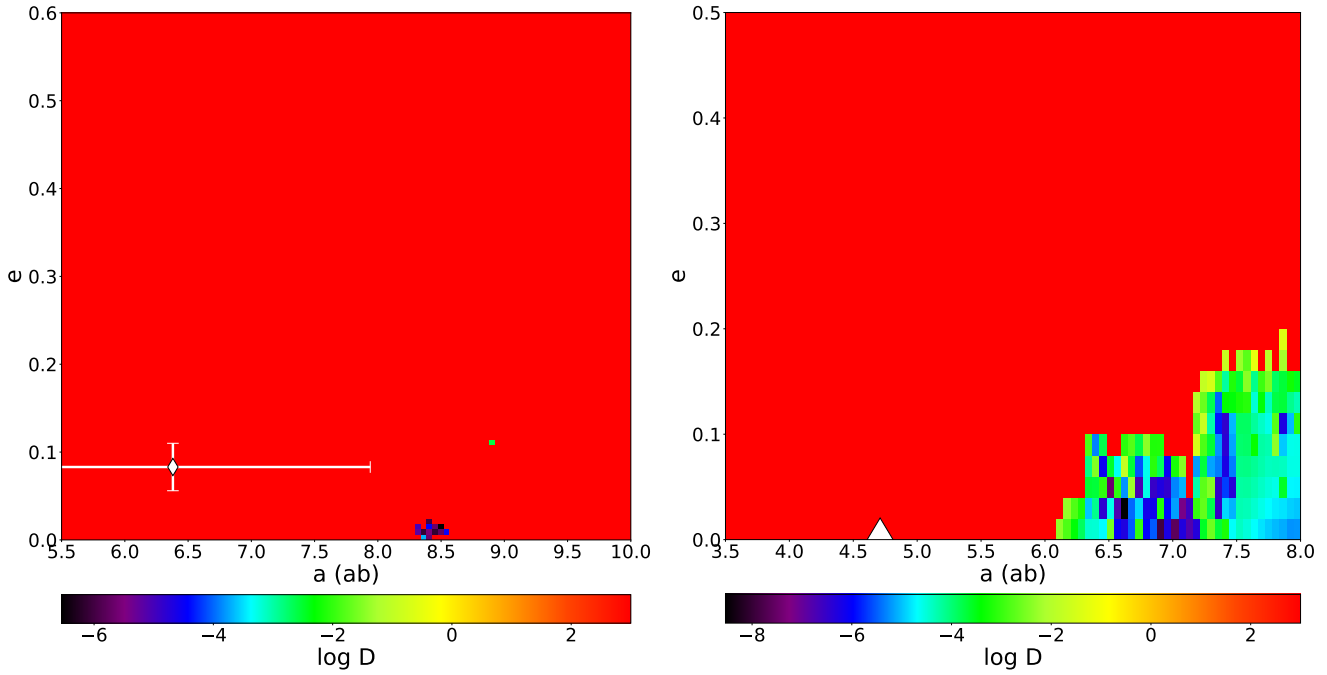
Şekil 1. Sistemlerin yörünge kararlılık haritaları. Dış yörüngedeki cismin yarı-büyük eksen uzunluğu (a) ve dışmerkezliğine (e) karşılık gelen değerler haritlanmış ve ETV analiz sonuçları (elmas şekli) hata çubukları ile gösterilmiştir. Renk ölçeği logaritmik formdaki normalize kararlılık ölçeğidir ve $\log D < -6$ koşulunun sağlandığı bölgeler (koyu mavi - mor - siyah) kararlı yörünge mimarilerine karşılık gelmektedir. Üst panel: (sol) NY Vir, (sağ) UZ For; Alt panel: (sol) NN Ser, (sağ) NSVS 14256825.

Yörünge simülasyonları için zaman adım değeri, en iç yörüngedeki cismin yörünge dönemine bağlı olarak 25, 50 ya da 100 gün olarak alınmıştır. Toplam simülasyon süreleri, en dış yörüngedeki cismin yörünge dönemine bağlı olarak 10^6 ya da 10^7 gün olarak belirlenmiştir.

Her bir sistem için en dış yörüngedeki cismin yörünge yarı-büyük eksen uzunluğu ve dışmerkezlik değerleri uygun aralıklar içerisinde değiştirilerek, yörünge kararlılıkların hesaplanacağı harita koordinatları belirlenmiştir. Bu

koordinatlara karşılık gelen yörünge parametreleri kullanarak yörünge simülasyonları gerçekleştirilmiş ve normalize kararlılık göstergeleri hesaplanmıştır.

Elde edilen kararlılık haritalarına göre NY Vir sistemi kararlı yörünge mimarisine sahip görünürken, UZ For (Şekil 1, üst sağ panel), NN Ser (Şekil 1, alt sol panel), NSVS 14256825 (Şekil 1, alt sağ panel), HU Aqr (Şekil 1 devamı, sol panel) ve V470 Cam (Şekil 1 devamı, sağ panel) sistemlerinin tamamında, literatürde verilen parametreler kararsız yörüngelere karşılık gelmektedir.



Şekil 1 – devamı. (sol) HU Aqr, (sağ) V470 Cam.

Bu sistemler içerisinde NN Ser sistemi kararlılık bölgesine görece yakın durmaktadır.

İncelenen sistemlerdeki gezegenlerin literatürde verilmiş yörünge dışmerkezlikleri genel olarak büyüktür. Yörünge kararsızlığının önemli bir sebebinin yörünge dışmerkezliliği olması ihtimaline dayanarak ikinci bir kararlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizde, gezegen dışmerkezlilik değerleri sıfıra sabitlenerek çembersel yörünge kabulü yapılmıştır. İç ve dış yörüngedeki gezegenlerin yörünge yarı-büyük eksen değerleri uygun aralıklar içerisinde değiştirilerek, yapılacak yeni kararlılık harita koordinatları belirlenmiştir. Diğer tüm yörünge parametreleri ile kütle değerleri literatürden elde edilenler ile aynı tutulmuştur. HW Virginis sistemine de bu kararlılık analizi uygulanmış ve Esmer ve diğ. (2021) tarafından kararsız olduğu bulunan sonuçların, çembersel yörünge kabulü altında değişimi incelenmiştir.

Bu şekilde gerçekleştirilen yörünge kararlılık analizi sonuçlarına göre, UZ For (Şekil 2, üst sol panel), NN Ser (Şekil 2, üst sağ) ve NSVS 14256825 (Şekil 2, alt sol) sistemlerindeki cisimler, literatürde verilen hata değerleri içerisinde kararlı yörüngelere sahip olabilmekte iken, HU Aqr (Şekil 2, alt sağ), V470 Cam (Şekil 2 devamı, sol panel) ve HW Vir (Şekil 2 devamı, sağ panel) parametre hata değerleri içerisinde yörünge kararlılığına sahip olamamaktadır.

4 Sonuç ve Tartışma

ETV yöntemi ile önerilen gezegen sistemlerinin büyük bir bölümünün yörünge kararlılık analizlerinde kararsız görünmesi, bu yöntemin uygulanması ile ilgili sorunların varlığını göstermektedir. Bu durumun olası sebeplerinden önemli birisi modellerin uygun olmaması olabilir. ETV modelleri yapılırken kullanılan ışık-zaman etkisinin yanı sıra, seküler ya da uzun dönemli çevrimsel değişimler kaynaklı olması muhtemel trendlerin ne tür modeller ile analiz edileceğine ilişkin belirsizlikler söz konusu olabilmektedir. Bu duruma

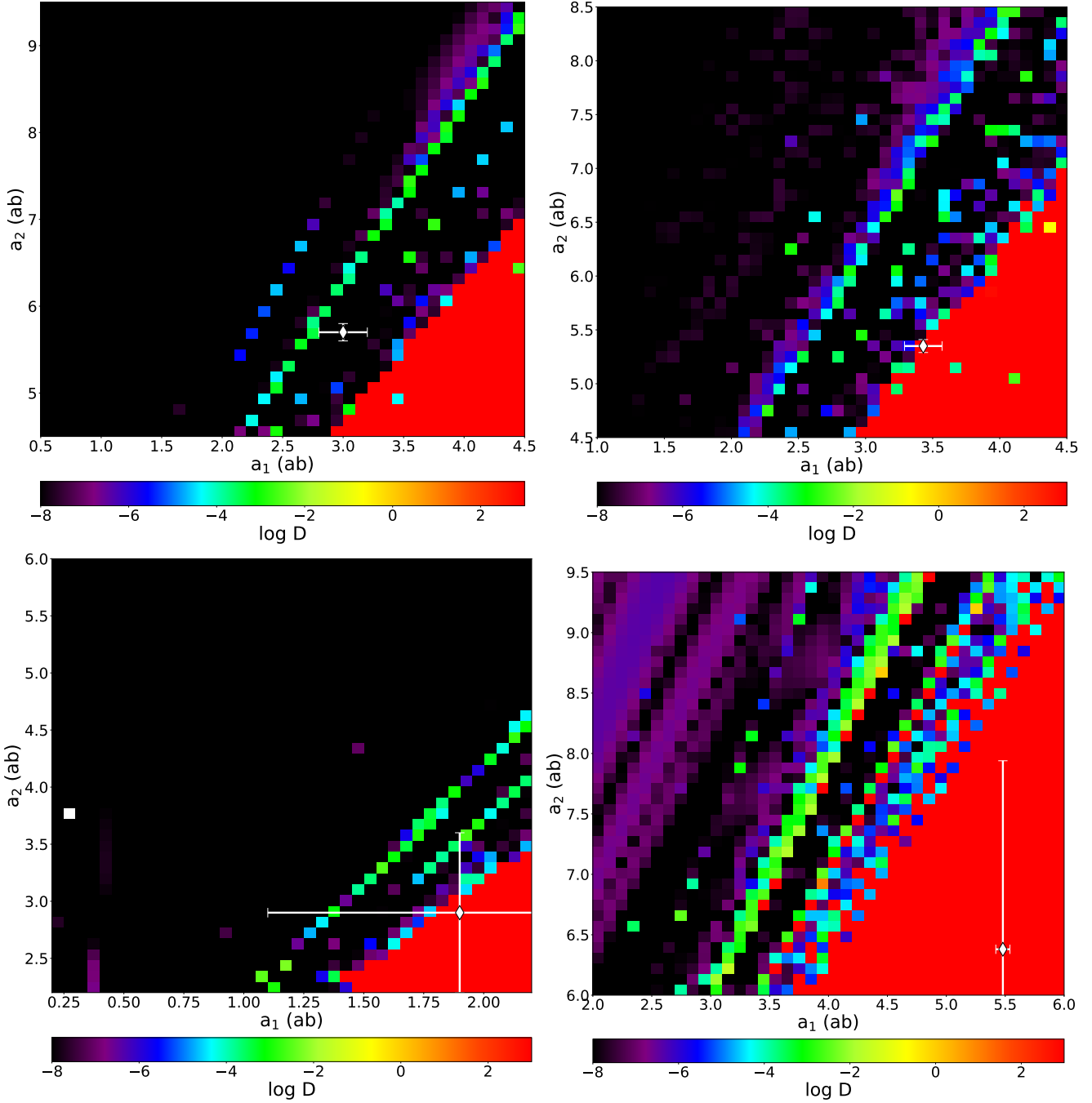
iyi bir örnek olarak, Baran ve diğ. (2015) tarafından yapılan çalışmada bahsedilen, Kepler-451 sisteminin ETV diyagramındaki uzun dönemli trend yapısının, devam eden yer ve uzay tabanlı gözlemler ile çevrimsel bir doğasının var olduğunu Esmer ve diğ. (2022) tarafından tespit edilmesi gösterilebilir. Benzer durumun diğer sistemler için de geçerli olma ihtimali düşünüldüğünde, takip gözlemlerinin yapılarak modellerin sınanmasının önemi ortaya çıkmaktadır.

ETV yöntemi ile incelenen sistemlerin doğasına uygun olan mekanizmaların yaratacağı değişimlerin hesaplanarak, uyumlamada kullanılacak modellere önden eklenmesi, seküler trendlerin mertebelerinin belirlenmesi ve diğer mekanizmaların etkilerinin sistemlerin fiziksel doğaları bağlamında gerçekçi olarak belirlenmesine katkı sağlayabilir.

Işık-zaman etkisi modeli barındıran analizler sonucunda elde edilen yüksek dışmerkezlilik değerleri, sistemde bulunması olası birden fazla gezegenin varlığı söz konusu olduğunda yörüngelerin kararsız olması sonucunu doğurabilmektedir. Bu çalışmada incelenen UZ For, NN Ser ve NSVS 14256825 sistemlerinin çembersel yörünge kabulü altında kararlı yörüngelere sahip olabileceğini gösteren sonuçlar ışığında, bu modelin kullanıldığı analizlerde öncelikle çembersel ya da düşük dışmerkezlilik değerlerine sahip yörünge kabulleri altında, istatistiksel olarak benzer başarımda uyumlamalar denenebilir.

Literatürde sıkça kullanılan zamanlama hesabı yöntemlerinin (örn: Kwee & van Woerden 1956) özellikle hata hesabına ilişkin sorunlara sahip olması söz konusudur (Mikulášek ve diğ. 2014). Bu sebeple hem gözlemsel verinin işlenmesi, hem de uyumlama süreçlerinde olasılıkçı istatistik yöntemlerinin kullanılması, elde edilen sonuçların yörünge kararlılık analizleri ile yorumlanmasında güvenilir sonuçların elde edilmesini mümkün kılabilir.

Son olarak, ETV yöntemi ile keşfedilen ya da önerilen gezegenlerin, diğer gezegen keşif yöntemleri ile de tespit



Şekil 2. Sistemlerin çembersel yörünge kabulü altında elde edilen yörünge kararlılık haritası. Yatay eksen iç yörünge, dikey eksen ise dış yörünge cismin yörünge yarı-büyük eksen uzunluk değerlerini temsil etmektedir. ETV analizi sonucu elde edilen değerler ve hataları elmas şekli ve hata çubukları ile gösterilmiştir. Üst panel: (sol) NY Vir, (sağ) UZ For; Alt panel: (sol) NN Ser, (sağ) NSVS 14256825.

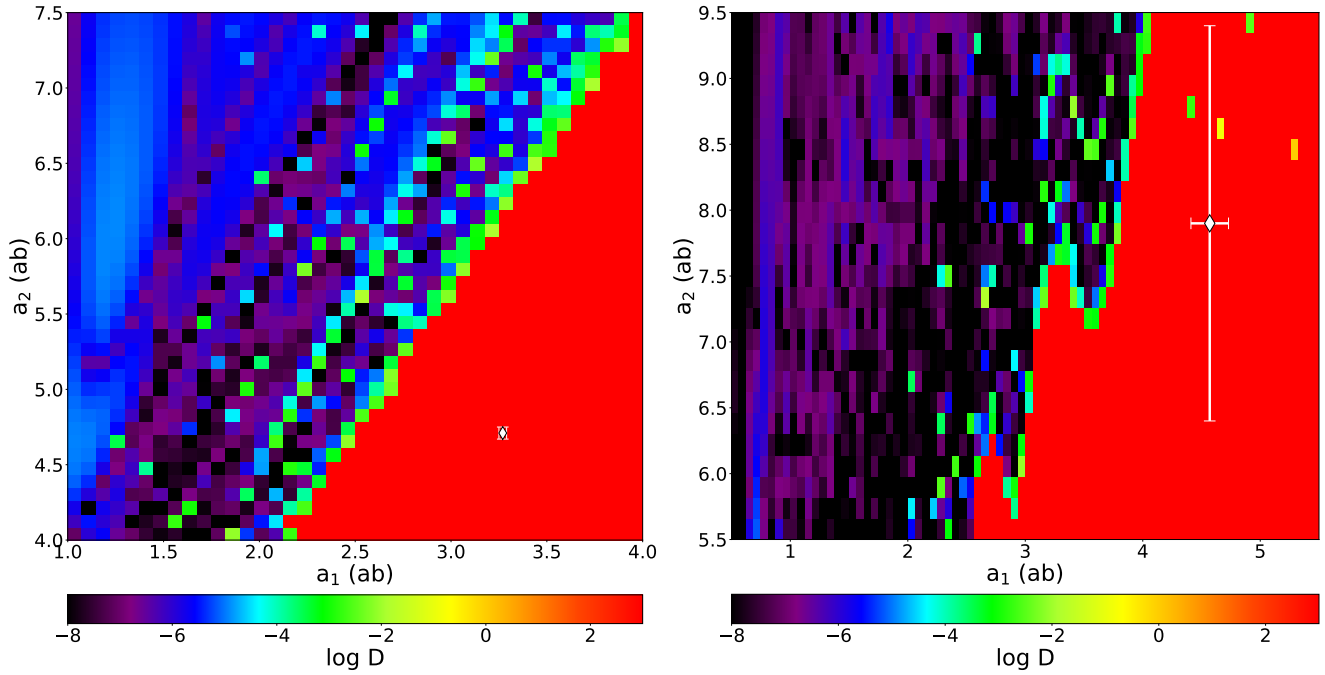
edilerek, varlıklarına dair soruların giderilmesinin önem arz ettiği de vurgulanmalıdır.

Teşekkür

EME bu çalışmanın hazırlanmasındaki desteği için TÜBİTAK'a (2214-A, No. 1059B141800521) teşekkürlerini bildirir. TÜBİTAK'a ayrıca 118F042 numaralı 1001 projesine verdiği destek için de teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Almeida L. A., Jablonski F., Rodrigues C. V., 2013, *ApJ*, 766, 11
 Baştürk Ö., Esmer E. M., 2018, *Open Astronomy*, 27, 14
 Baran A. S., Zola S., Blokesz A., Østensen R. H., Silvotti R., 2015, *A&A*, 577, A146
 Beuermann K., Dreizler S., Hessman F. V., Deller J., 2012, *A&A*, 543, A138
 Brown-Sevilla S. B., ve diğ., 2021, *MNRAS*, 506, 2122
 Correia A. C. M., Udry S., Mayor M., Laskar J., Naef D., Pepe F., Queloz D., Santos N. C., 2005, *A&A*, 440, 751



Şekil 2 – devamı. (sol) HU Aqr, (sağ) V470 Cam.

Er H., Özdönmez A., Nasiroglu I., 2021, *MNRAS*, 507, 809
 Esmer E. M., Baştürk Ö., Hinse T. C., Selam S. O., Correia A. C. M., 2021, *A&A*, 648, A85
 Esmer E. M., Baştürk Ö., Selam S. O., Aliş S., 2022, *MNRAS*, 511, 5207
 Gastineau M., Laskar J., 2011, *ACM Commun. Comput. Algebra*, 44, 194
 Goździewski K., ve diğ., 2015, *MNRAS*, 448, 1118
 Hinse T. C., Horner J., Wittenmyer R. A., 2014, *Journal of Astronomy and Space Sciences*, 31, 187
 Horner J., Hinse T. C., Wittenmyer R. A., Marshall J. P., Tinney C. G., 2012, *MNRAS*, 427, 2812
 Horner J., Wittenmyer R. A., Hinse T. C., Marshall J. P., Mustill A. J., Tinney C. G., 2013, *MNRAS*, 435, 2033
 Irwin J. B., 1959, *AJ*, 64, 149
 Khangale Z. N., Potter S. B., Kotze E. J., Woudt P. A., Breytenbach H., 2019, *A&A*, 621, A31
 Kilkenny D., 2011, *MNRAS*, 412, 487
 Kwee K. K., van Woerden H., 1956, *Bull. Astron. Inst. Netherlands*, 12, 327, *ADS*
 Laskar J., 1990, *Icarus*, 88, 266
 Laskar J., 1993, *Physica D Nonlinear Phenomena*, 67, 257
 Lee J. W., Kim S.-L., Kim C.-H., Koch R. H., Lee C.-U., Kim H.-I., Park J.-H., 2009, *AJ*, 137, 3181
 Lee J. W., Hinse T. C., Youn J.-H., Han W., 2014, *MNRAS*, 445, 2331
 Marsh T. R., ve diğ., 2014, *MNRAS*, 437, 475
 Mikulášek Z., Chrástina M., Liška J., Zejda M., Janík J., Zhu L. Y., Qian S. B., 2014, *Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso*, 43, 382, *ADS*
 Pulley D., Faillace G., Smith D., Watkins A., 2016, *Journal of the British Astronomical Association*, 126, 249, *ADS*
 Qian S. B., Zhu L. Y., Dai Z. B., Fernández-Lajús E., Xiang F. Y., He J. J., 2012, *ApJ*, 745, L23
 Rein H., Liu S. F., 2012, *A&A*, 537, A128
 Sale O., Bogensberger D., Clarke F., Lynas-Gray A. E., 2020, *MNRAS*, 499, 3071
 Song S., Mai X., Mutel R. L., Pulley D., Faillace G., Watkins A.,

2019, *AJ*, 157, 184
 Wittenmyer R. A., Horner J., Marshall J. P., 2013, *MNRAS*, 431, 2150
 Zorotovic M., Schreiber M. R., 2013, *A&A*, 549, A95
 Çamurdan C. M., Zengin Çamurdan D., İbanoğlu C., 2012, *New Astron.*, 17, 325

Access:

M23-0319: *Turkish J.A&A* — Vol.4, Issue 3.