

Kataklizmik Değişen Çift Yıldızlar Etrafındaki Varsayımsal İki Gezegenli Sistemlerin Yörünge Kararlılığının İstatistiksel Analizi



Muhammet Emir KENGER^{1,2}, Hüseyin ER³, Aykut ÖZDÖNMEZ³

¹ Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 25240, Erzurum, Türkiye

² Türkiye Ulusal Gözlemevleri (TUG), 07070, Antalya, Türkiye

³ Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 25240, Erzurum, Türkiye



Giriş

Kataklizmik değişen (CV) yıldızlar, bir beyaz cüceye düşük kütleli eş yıldızdan madde aktarımının gerçekleştiği yakın etkileşen çift sistemlerdir. Uzun dönemli evrimleri açısal momentum kaybı tarafından belirlenir [1]. Örtün CV'lerin zamanlama değişimlerinde gözlenen çevrimsel yapılar, bazı sistemlerde çift yıldızı çevreleyen ek cisimlerin ışık-zaman etkisi (LTT) ile açıklanmaktadır [2]. Bu tür çoklu-cisim çözümlerinin fiziksel olarak geçerli olabilmesi için gözlemsel uyumun yanı sıra dinamik olarak da kararlı olmaları gerekir [3]. Bu çalışmada varsayımsal iki-gezegenli CV sistemleri için geniş bir parametre uzayı taranarak yörünge kararlılığının istatistiksel yapısı ve kararlılığı belirleyen temel dinamik özellikler araştırılmıştır.

Sayısal Yöntem

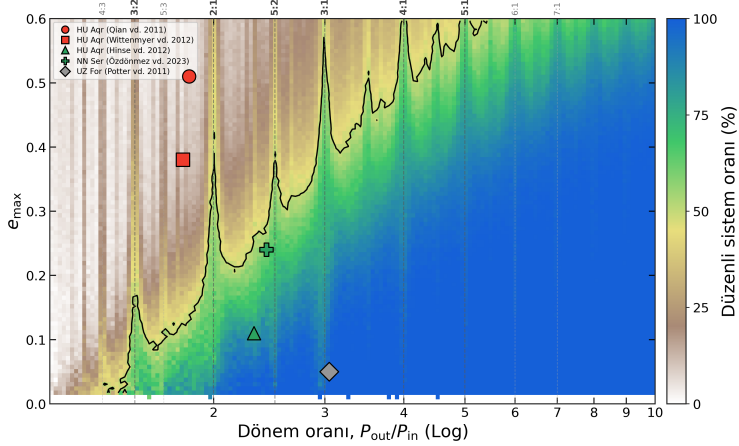
Varsayımsal iki gezegenli sistemler, CV çiftinin toplam kütlesi merkezi noktasal kütle olarak alınarak REBOUND ve WHFast entegratörü ile modellenmiştir [4, 5]. Benzer merkezi-kütle yaklaşımı çevresel gezegenlerin dinamik analizlerinde de kullanılmaktadır [6]. Toplam 10^7 konfigürasyon incelenmiş ve dinamik davranış MEGNO göstergesi ile değerlendirilmiştir [7]. Düzenli yörüngelerde MEGNO değeri 2'ye yakınsadığından, 2.5 üzerindeki değerler sonlu-zamanlı kaotik davranış göstergesi olarak kabul edilmiştir. Her sistem $10^3 P_{in}$ boyunca $dt=P_{in}/50$ ile entegre edilmiştir.

$\frac{P_{out}}{P_{in}}$	e_{max}	$\frac{m_{in} + m_{out}}{M_b}$	$\Delta = \frac{a_{out} - a_{in}}{R_{H,m}}$
Dönem oranı	Maksimum dışmerkezlik	Toplam gezegen kütle oranı	Hill-normalize ayırım
MEGNO (Y)	$Y \leq 2.5 \rightarrow$ Düzenli	$Y > 2.5 \rightarrow$ Düzensiz / kaotik	
$R_{H,m} = \left(\frac{m_{in} + m_{out}}{3M_b} \right)^{1/3} \cdot \frac{a_{in} + a_{out}}{2}$			

Tablo 1. Simülasyonlarda kullanılan parametreler ve tarama aralıkları.

Parametre	CV kütlesi	m_1, m_2	a_1	P_2/P_1	e_1, e_2	Örneklem
Tarama aralığı	0.4–1.4 $M_\odot$	0.001–13 M_J	0.5–5 AU	1.1–10	0–0.6	10^7 sistem

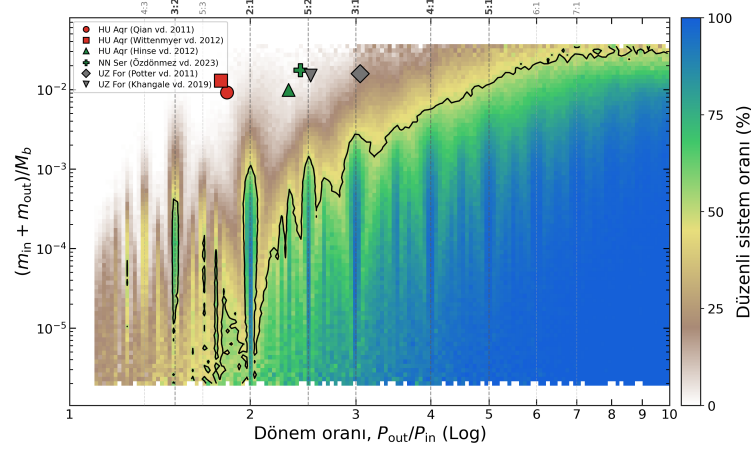
Not: a_2 , örneklenen P_2/P_1 oranından türetilmiştir.



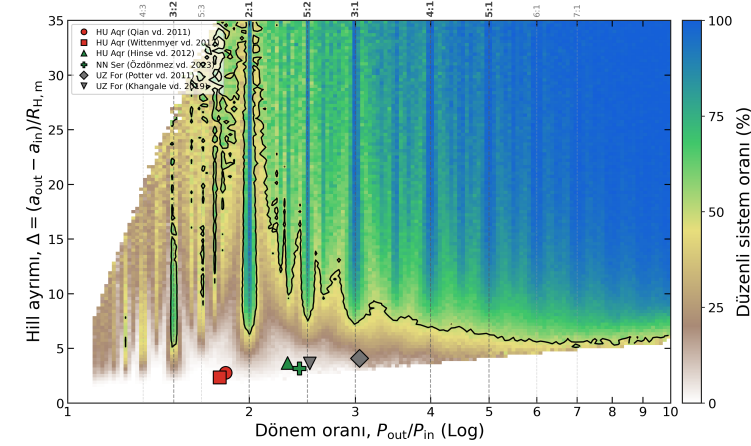
Şekil 1. Düzenli sistemlerin düşük dışmerkezlik ve daha yüksek dönem oranlarında yoğunlaştığı görülmektedir. Artan e_{max} özellikle düşük dönem oranlarında düzenli yörünge oranını belirgin biçimde azaltmaktadır.

Dinamik Bulgular

Parametre uzayı taraması düzenli yörüngelerin özellikle düşük dışmerkezlik ve daha geniş yörünge ayırmalarında yoğunlaştığını göstermektedir. Düzenli sistem oranı, gezegenlerin toplam kütle oranı ve karşılıklı Hill ayırımıyla belirgin biçimde değişirken ortalama hareket rezonansları çevresinde de farklı dinamik davranışlar ortaya çıkmaktadır.



Şekil 2. Düzenli sistem oranı toplam gezegen kütle oranı azaldıkça ve dönem oranı arttıkça yükselmektedir



Şekil 3. Hill-normalize yörünge ayırımı Δ arttıkça düzenli sistemlerin oranı belirgin biçimde artmaktadır.

Sonuç

- Düzenli yörüngeler genel olarak düşük dışmerkezlik, düşük gezegen/CV kütle oranı ve daha büyük Hill ayırımı değerlerinde yoğunlaşmaktadır.
- Özellikle küçük P_{out}/P_{in} oranlarında dışmerkezliğin artması düzenli sistem oranını belirgin biçimde azaltmaktadır.
- Gezegenler arasındaki Hill ayırımının artması düzenli dinamik davranış için en belirgin göstergelerden biri olarak ortaya çıkmaktadır.
- Ortalama hareket rezonansları çevresinde farklı dinamik davranışlar görülmekle birlikte bu çalışmada rezonans kilitlenmesi doğrudan test edilmemiştir.
- Sonuçlar LTT ile önerilen çevresel gezegen çözümlerinin yalnızca gözlemsel uyumla değil, dinamik kararlılık açısından da sınanması gerektiğini göstermektedir.

Referanslar

- [1] Knigge, C., vd. 2011, ApJS, 194, 28.
- [2] Beuermann, K., vd. 2010, A&A, 521, L60.
- [3] Horner, J., vd. 2011, MNRAS, 416, L11.
- [4] Rein, H. ve Liu, S.-F. 2012, A&A, 537, A128.
- [5] Rein, H. ve Tamayo, D. 2015, MNRAS, 452, 376.
- [6] Özdönmez, A., vd. 2023, MNRAS, 526, 4725.
- [7] Cincotta, P. M. ve Simó, C. 2000, A&AS, 147, 205.
- [8] Qian, S.-B., vd. 2011, MNRAS, 414, L16.
- [9] Wittenmyer, R. A., vd. 2012, MNRAS, 419, 3258.
- [10] Hinse, T. C., vd. 2012, MNRAS, 420, 3609.
- [11] Potter, S. B., vd. 2011, MNRAS, 416, 2202.
- [12] Khargale, Z. N., vd. 2019, A&A, 621, A31.

