

ÖRTEN ÇİFT YILDIZLAR HS HER VE RU MON'DA EKSEN DÖNMESİ VE ÜÇÜNCÜ CİSİM PROBLEMİ

A. BULUT^{1*}, C. ÇİÇEK^{1**}, İ. BULUT^{2***} ve A. ERDEM¹

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fizik Bölümü,
Terzioğlu Kampüsü, Çanakkale
² Çanakkale Meslek Yüksek Okulu,
Terzioğlu Kampüsü, Çanakkale

Özet Bu çalışmada eliptik yörüngeli örten çift sistemleri HS Her ($P=1.637$ gün, $e=0.019$) ve RU Mon ($P=3.585$ gün, $e=0.39$)' da eksen dönmesi ve üçüncü cisim problemi incelenmiştir. Bu iki sistem için yeni fotometrik gözlemler yapılarak yeni minimum zamanları elde edilmiştir. Literatürde bulunan tüm minimum zamanları ile bu çalışmada elde edilen yeni minimum zamanları birleştirilerek gözlenen sistemlerin $O-C$ eğrileri oluşturulmuş, dönem değişimleri analiz edilmiştir.

HS Her'in eksen dönmesi dönemi 72.58 ± 5.4 yıl, üçüncü cismin yörünge dönemi ise 55.7 ± 3.3 yıl hesaplanmıştır. RU Mon' ın eksen dönmesi dönemi 322 ± 95 yıl ve üçüncü cismin yörünge dönemi 73.3 ± 0.3 yıl olarak hesaplanmıştır. Sistemlerin gözlemsel iç yapı sabitleri bulunmuş, kuramsal değerlerle karşılaştırılarak tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Örten Değişen çift Yıldızlar, Eksen dönmesi, Yıldızlar: HS Her ve RU Mon

1 Giriş

Eksen dönmesi eliptik yörüngeli çift yıldız sisteminin yarı büyük ekseninin zamanla dönmesidir. Eğer örten çiftin yörüngesinin dış merkezliği büyük ve eksen çizgisi gözlemciye doğru yönelmemişse fotometrik gözlemlerdeki baş minimum, yan minimuma göre kayarak 0.5 evresi etrafında salınım yapar.

Eksen dönmesi örten çift yıldız sistemlerinin minimum zamanların izlenmesiyle doğrudan gözlenebilir. Eksen dönmesi analizi için yöntemler Gimenez ve Garcia - Pelayo (1983), Lacy (1992) ve Gimenez ve Bastero (1995) tarafından geliştirilmiştir. Bir örten çift yıldız sistemine dinamik olarak bağlı üçüncü bir cisim bulunuyorsa örten çift ve üçüncü yıldız ortak kütle merkezi çevresinde devineceklerdir.

Bu yörünge gökyüzü düzlemiyle çakışık değilse örten çift devinimi sırasında gözlemciye yaklaşacak ve uzaklaşacaktır. Işık hızı sonlu olduğundan örten çiftin üyelerinin birbirini karşılıklı örtmeleriyle oluşan minimumlar, çiftin gökyüzü düzleminin önünde olduğunda daha erken arkasında olduğunda ise daha geç gözlene-

* abulut@comu.edu.tr

** ccicek@comu.edu.tr

*** ibulut@comu.edu.tr

cektir. Bu olaya ışık zaman etkisi denir. Işık zaman yörüngesinin çözümüyle üçüncü cisim kütlelerinin bulunabileceği Woltjer (1922) tarafından gösterilmiştir. Bu etki Irwin (1952, 1959) tarafından ifade edilmiştir.

Bu çalışmada eksen dönmesi ve üçüncü cisim gösteren örten çift sistemlerden HS Her ve RU Mon'ın, yeni yapılan gözlemler ışığında eksen dönmesi ve üçüncü cisim parametreleri hesaplanmıştır.

2 Gözlemler ve Analiz

2.1 HS Her

HS Her (HD 174714, SAO= 86497, HIP= 92478, BD + 24° 3552, V= 8^m.61, Tayf Türü= B5V + A4V ve P= 1.63 gün), örten çift sistemindeki değişim Martynov (1940) tarafından 1934 yılında keşfedilmiştir. Martynov sistemi Algol türü bir örten çift sistem olarak sınıflamıştır. HS Her'in dönem değişimi bir çok yazar tarafından araştırılmıştır. Bunlardan bazıları şunlardır: Cesco ve Sahade (1945), Hall ve Hubbard (1971), Martynov (1974), Scarfe ve Barlow (1974), Todoran (1992), Bastian (1993), Todoran ve Agerer (1994), Wolf (2002), Bozkurt ve Değirmenci (2007). Bozkurt (2006), sistemde hem eksen dönmesi hem de üçüncü cisim etkisinin varlığı birlikte incelenmiştir. Bozkurt'a göre; HS Her örten çift sisteminde dönem değişimi, 82.3 yıl dönemli eksen dönmesi ve 89.3 yıl dönemli üçüncü cisim katkısını içermektedir.

2.2 Gözlem ve Dönem Analizi

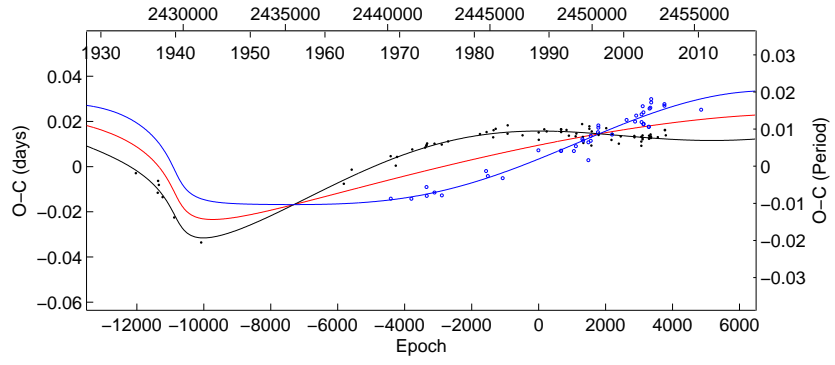
HS Her'in yeni minimum gözlemleri Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Gözlemevi'nde 2010 da 30-cm çaplı Schmidt-Cassegrain teleskopu ve buna bağlı STL-1001E CCD kamera ile BVR filtresinde yapılmıştır. Bu çalışmada yapılan gözlemlerinden HS Her için bir yeni minimum zamanı elde edilmiştir. Minimum zamanları ve standart yanlışları, Kwee - van Woerden yöntemi (Kwee ve Woerden, 1956) kullanılarak hesaplanmıştır. Sistemin çevrim sayılarının hesabında

$$\text{Min I(HJD)} = 2447382.4060 + 1.637432 \times E, \quad (1)$$

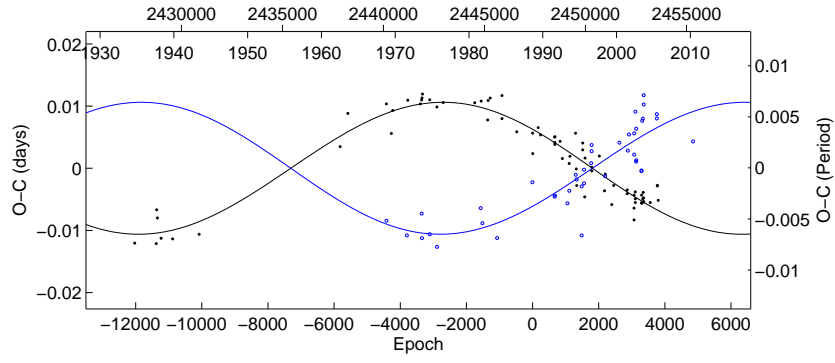
lineer ışık elemanları kullanılmıştır. Analizlerde Tablo 1' de verilen yeni minimum zamanı ile beraber literatürden toplanan, 75 tanesi birinci minimum olmak üzere, toplam 112 tane minimum zamanı kullanılmıştır. *O-C* eğrisinde önce eksen dönmesi etkisi analiz edilmiştir. Bu etki çıkartıldıktan sonra üçüncü cisim analizi yapılmıştır. Analiz sırasında tüm noktalara gerekli ağırlıklar ($\text{vis} = 1$, $\text{pg} = 3$, $\text{pe} = 10$ ve $\text{ccd} = 10$) verilmiştir. Elde edilen üçüncü cisim ve eksen dönmesi parametreleri Tablo 2 de verilmiştir. Şekil 1, 2 ve 3'de sırasıyla analiz sonucu elde edilen kuramsal eğri ve gözlemsel *O-C* farkları ile, eksen dönmesi katkısı, üçüncü cisim katkısı ve gözlemsel noktaların kuramsal eğrilerden olan farklar verilmektedir. Tablo 2'den görüleceği gibi HS Her'in eksen dönmesi dönemi 72.58 ± 5.4 yıl, üçüncü cismin yörünge dönemi ise 55.7 ± 3.3 yıl hesaplanmıştır.

Tablo 1. Yeni minimum zamanı.

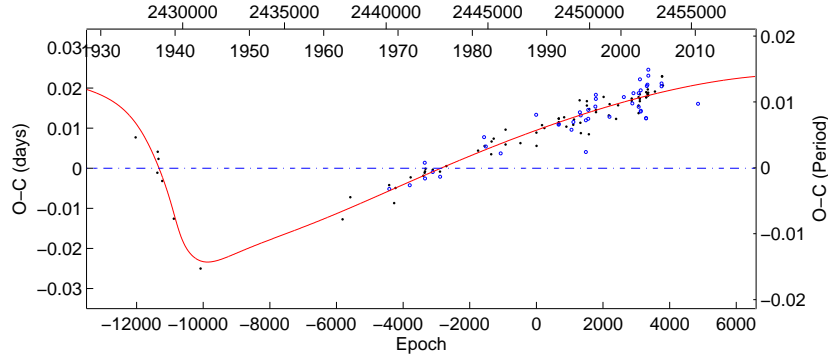
Sistem	HJD+2400000+	Hatası	Çevrim Sayısı(E)	Türü	Filtre
HS Her	55326.4349	0.0005	4851.5	II	BVR



Şekil 1. HS Her'in (O-C) değişimi ve bu değişimi belirleyen fit.



Şekil 2. HS Her'in eksen dönmesini gösteren fit.



Şekil 3. HS Her'in üçüncü cismini gösteren fit.

2.3 RU Mon

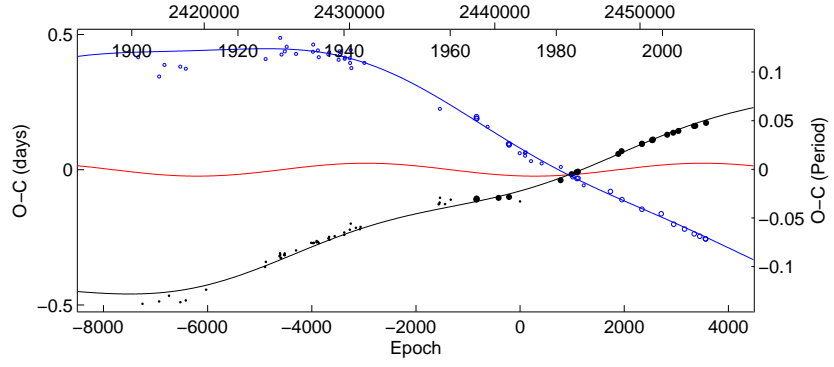
RU Mon (GSC 5380.0802, HIP= 33163, BD - 7° 1623, FL 689, AN 43.1905 $V = 10^m.5$, Tayf Türü= B7V + B7V ve $P = 3.58$ gün), ilk kez Ceraski (1905) tarafından keşfedilmiştir. Blazko (1905, 1925) sistemin görsel gözlemini yapmıştır. Dubiaga ve Martynov (1929), birinci minimum ve ikinci minimum değişimini bulmuştur. Ayrıca eksen dönme dönemini birkaç yüzyıllık olarak yorumlamış ve yörünge eksantiritesini $e = 0.4$ olarak tahmin etmiştir. RU Mon birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Bunlardan bazıları Martynov (1965), Khaliullina ve Martynov (1985) ve Wolf (1999). Wolf (1999) çalışmasında, eksen dönme dönemi 347 yıl ve üçüncü cismin yörünge dönemi ise 73 yıl bulmuştur.

2.4 Gözlem ve Dönem Analizi

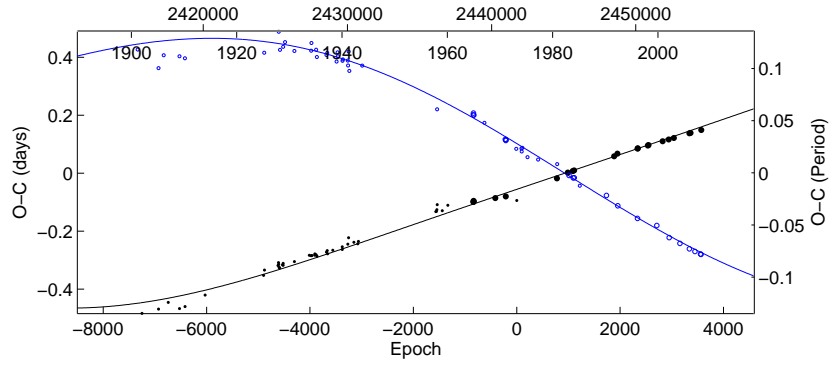
RU Mon eksen dönmesi analizinde, literatürden toplanan minimum zamanları kullanılmıştır. Literatürden 64 tanesi birinci minimum olmak üzere, toplam 120 tane minimum zamanı toplanmıştır. Sistemin çevrim sayılarının hesabında

$$\text{Min I(HJD)} = 2445116.4706 + 3.584651 \times E, \quad (2)$$

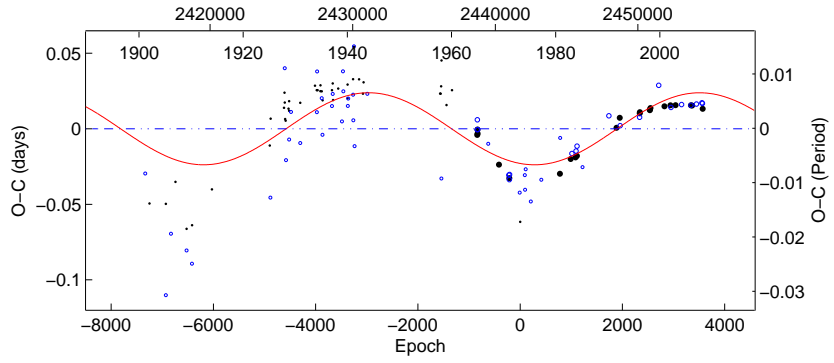
lineer ışık elemanları kullanılmıştır. $O-C$ analizi sırasında tüm noktalara gerekli ağırlıklar ($vis = 1$, $pg = 3$, $pe = 10$ ve $ccd = 10$) verilmiştir. Şekil 4, 5 ve 6'de sırasıyla analiz sonucu elde edilen kuramsal eğri ve gözlemsel $O-C$ farkları ile, eksen dönmesi katkısı, üçüncü cisim katkısı ve gözlemsel noktaların kuramsal eğrilerden olan farkları verilmektedir. $O-C$ sonucu elde edilen eksen dönmesi ve üçüncü cisim parametreleri ise Tablo 2'de verilmektedir. Tablo 2'den de görüleceği gibi eksen dönmesi dönemi 322 ± 95 yıl ve üçüncü cismin yörünge dönemi ise 73.3 ± 0.3 yıl olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. RU Mon'un (O-C) değişimi ve bu değişimi belirleyen fit.



Şekil 5. RU Mon'un eksen dönmesini gösteren fit.



Şekil 6. RU Mon'un üçüncü cismi gösteren fit.

Tablo 2. HS Her ve RU Mon'ın eksen dönmesi ve üçüncü cisim parametreleri.

Parameter	Unit	HS Her	RU Mon
T_0	HJD	2447382.4060 ± 0.002	2451767.3504 ± 0.0030
P_s	day	1.63743 ± 0.00021	3.5846513 ± 0.000008
P_a	day	1.63513 ± 0.00015	3.5847526 ± 0.000008
e		0.01765 ± 0.00021	0.396 ± 0.005
$\dot{\omega}$	deg/cycle	0.0196 ± 0.0003	0.0102 ± 0.0005
ω_0	deg	235.5 ± 0.001	90.1 ± 0.03
i	deg	87.6	89.8
U	yr	72.58 ± 5.4	322 ± 95
P_3	yr	55.7 ± 0.8	73.3 ± 0.3
ω_3	deg	190.23 ± 0.05	202.3 ± 0.3
e_3		0.91 ± 0.04	0.464 ± 0.005
T_3	HJD	29602.181 ± 0.153	39865.146 ± 0.115
$A_{12}\sin i_3$	AU	7.61 ± 0.02	8.421 ± 0.005

3 İç Yapı Sabitleri

Eksen dönmesi çalışmaları yıldız iç yapı sabitinin elde edilmesine kaynak olmaları sebebiyle çok önemlidirler. İç yapı sabiti, yıldız içlerindeki yoğunluk dağılımı ile ilişkilidir ve yıldız evrim modellerinin önemli bir parametresidir. Eksen dönme dönemini, ortalama gözlemsel iç yapı sabitine bağlayan ifade Kopal (1978) tarafından verilmiştir. Enberi noktası boylamının değişimindeki relativistik katkıyı veren ifade Gimenez (1985) tarafından elde edilmiştir.

Bir sistemin mutlak parametreleriyle birlikte eksen dönmesi dönemi bilinirse, sistemin ortalama gözlemsel içyapı sabitini hesaplamak mümkündür.

4 Sonuçlar ve Tartışma

Bu araştırma da, eksen dönmesi gösteren çoklu sistemlerin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç için HS Her ve RU Mon seçilmiş, sistemlerin dönem değişimi incelenmiştir. Çalışılan iki sistemde eksen dönmesi yanında üçüncü cisim ışık zaman etkisinin varlığı gösterilmiştir. Yapılan $O-C$ analizleri ile eksen dönmesi ve üçüncü cisim parametreleri elde edilmiştir.

HS Her sistemin eksen dönme dönemi 72.58 ± 5.4 yıl ve üçüncü cismin yörünge dönemi 55.7 ± 3.3 yıl olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre eksen dönmesi dönemi, Bozkurt (2006) tarafından bulunan değerden yaklaşık 10 yıl kadar daha küçük çıkmıştır. Gözlenen eksen dönmesine relativistik eksen dönmesinin katkısı % 7 olarak hesaplanmıştır. Bu oran gözlemsel eksen dönmesinden çıkarıldığında ortalama gözlemsel iç yapı sabiti ($\log \bar{k}_{2,obs}$) = -2.207 olarak hesaplanır. Diğer taraftan sistem için ortalama teorik iç yapı sabiti ($\log \bar{k}_{2,theo}$) = -2.160 olarak belirlenmiştir. Bulunan gözlemsel ve teorik değerler karşılaştırıldığında gözlemler,

sistemin merkezi yoğunlaşmasının yıldız modellerine göre daha yüksek olduğu söylenebilir.

RU Mon sistemin eksen dönme dönemi 322 ± 95 yıl ve üçüncü cismin yörünge dönemi de 73.5 ± 3.6 yıl olarak bulunmuştur. Bu sonuç sistemin eksen dönme döneminin Wolf (1999)'nun bulduğu değerden daha küçük olduğu göstermektedir. Sistemin gözlemsel iç yapı sabiti ($\log \bar{k}_{2,obs}$) = -2.258 olarak hesaplanmıştır. Gözlenen eksen dönmesine, relativistik eksen dönmesinin katkısı da % 9 olarak bulunmuştur. Sistemin teorik ortalama iç yapı sabiti ($\log \bar{k}_{2,theo}$) = -2.52 olarak belirlenmiştir. Bulunan gözlemsel ve teorik değerler karşılaştırıldığında gözlemler, sistemin merkezi yoğunlaşmasının yıldız modellerine göre daha az olduğu söylenebilir.

O-C analizi ile elde edilen ışık-zaman etkisi parametreleri kullanılarak da üçüncü cisim için kütle fonksiyonu ve bazı parametrelerin değerleri hesaplanmıştır.

Kaynaklar

- Bastian, U.: HS Herculis–Not apsidal motion, but a third body. *Astronomische Nachrichten*. **314** (1993) 39–41
- Blazko, S.: Aufforderung zur Beobachtung von RU Monocerotis. *Astronomische Nachrichten*, volume. **224** (1925) 127
- Bozkurt, Z., Degirmenci, Ö. L.: Triple systems showing apsidal motion. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. **379** (2007) 370–378
- Bozkurt, Z.: Eksen Dönmesi Gösteren Üçlü Sistemler. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir. (2006)
- Ceraski W.: Une nouvelle variable 43. Monocerotis. *Astron. Nachr.* **167** (1905) 318
- Cesco, C. U., Sahade, J.: The Spectroscopic Orbit of SVS 923 Herculis. *Astrophysical Journal*, vol. **101** (1945) 114
- Dubiago A.D., Martynov D.Y.: Der Algolstern RU Monocerotis. *Astronomische Nachrichten* 235 (1929) 225 **235** (1929) 225
- Gimenez, A.: General-relativistic periastron advances in eclipsing binary systems. *Astrophysical Journal* vol. **297** (1985) 405–412
- Gimenez, A., Bastero, M.: A Revision of the Ephemeris-Curve Equations for Eclipsing Binaries with Apsidal Motion. *Astrophysics and Space Science*. **226** (1995) 99
- Gimenez, A., Garcia-Pelayo, J. M.: A new method for the analysis of apsidal motions in eclipsing binaries. *Astrophysics and Space Science*. **92** (1983) 203–222
- Hall, D. S., Hubbard, G. S.: A UBV Photometric Study of HS Herculis. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. **83** (1971) 459
- Irwin, J. B.: The Determination of a Light-Time Orbit. *Astrophysical Journal*. **116** (1952) 211
- Irwin, J. B.: Standard light-time curves. *Astronomical Journal*. **64** (1959) 149
- Khaliullina A.I., Khaliullin Kh.F., Martynov D.I.: Apsidal motion and the third body in the system RU Monocerotis. *Royal Ast. Soc.* **216** (1985) 909–922
- Kopal, Z.: Dynamics of close binary systems. *Astrophysics and Space Science Library*. **68** (1978) 524
- Kwee, K. K., van Woerden, H.: A method for computing accurately the epoch of minimum of an eclipsing variable. *Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands*. **12** (1956) 327

- Lacy, C. H. S.: An exact solution of the ephemeris-curve problem *Astronomical Journal*. **104** (1992) 2213–2216
- Martynov D.Y.: *RBull. Astron. Obs. Engelhardtta*. **18** (1940) 38
- Martynov D.Y.: *RU Monocerotis. Further Data on the Motion of the Line of Apsides. Astronomicheskii Zhurnal*. **42** (1965) 1209
- Martynov, D. Y.: Variability in the RU Monocerotis system. *Soviet Astronomy*. **18** (1974) 62
- Scarfe, C. D., And Barlow, D. J.: On the Possible Apsidal Advance in HS Herculis. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. **86** (1974) 181
- Todoran, I.: A new suspected apsidal period for HS Herculis. *Astronomische Nachrichten*. **313** (1992) 183–186
- Todoran, I., Agerer, F.: Remarks on the period variation of HS Herculis and SW Cygni. *Astronomische Nachrichten*. **315** (1994) 349–352
- Wolf, M., Harmanec, P., Diethelm, R., Hornoch, K., Eenens, P.: Apsidal motion and light-time effect in eclipsing binaries HS Herculis and U Ophiuchi. *Astronomy and Astrophysics*. **383** (2002) 533–539
- Wolf, M., Diethelm, R., Sarounova, L.: Apsidal motion and light-time effect in the eclipsing binaries RU Monocerotis and DR Vulpeculae. *Astronomy and Astrophysics*. **345** (1999) 553–558
- Woltjer, J. Jr.: On a special case of orbit determination in the theory of eclipsing variables. *Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands*. **1** (1922) 93