

ELİPTİK YÖRÜNGELİ ÖRTEN ÇİFT SİSTEMLER YY SGR VE PV CAS'IN EKSEN DÖNMESİ ANALİZİ

CANER ÇİÇEK^{1*} ve AHMET BULUT^{1**}

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fizik Bölümü,
Terzioğlu Kampüsü, Çanakkale

Özet Bu çalışmada YY Sgr ve PV Cas'ın eksen dönmesi analizi gerçekleştirilmiştir. Sistemlerin literatürde bulunan tüm minimum zamanlarıyla oluşturulan (*O-C*) diyagramları Lacy (1992)'nin yöntemi kullanılarak analiz edilmiş, eksen dönmesi parametreleri hesaplanmıştır. YY Sgr ve PV Cas'ın eksen dönme dönemleri sırasıyla 298.12 ± 47.55 ve 89.82 ± 4.62 yıl olarak hesaplanmıştır. Ayrıca sistemlerin ortalama gözlemsel içyapı sabitleri de bulunarak ve kuramsal modellerle karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Örtün Değişen Çift Yıldızlar, Eksen dönmesi, Yıldızlar: YY Sgr ve PV Cas

1 Giriş

Eksen dönmesi alanında yapılan çalışmaların, en önemli sonuçlarından biri yıldızların iç bölgelerine deneysel olarak bakabilmektir. Basık yörüngeli yakın çift yıldızlarda yörünge büyük ekseninin dönmesi yalnızca bileşenlerin dönme ve karşılıklı çekim nedeniyle küresel yapılarının bozulmasından ileri gelmez. Genel görelilikten kaynaklanan etkilerle de eksen dönmesi olabilir. İki yıldız kütle nokta olsalar bile Einstein'ın Görelilik Kuramına göre yörünge büyük ekseninin dönmesi beklenir.

Çift yıldızların çoğunda bileşenlerin ortak kütle merkezi çevresinde dolanırken oluşturdukları yörüngeler elipstir. Böyle basık bir yörüngede enberinin boylamı düğümler çizgisinin yörünge düzlemindeki doğrultusunu belirler. Enberinin boylamı aynı zamanda yörüngeyi belirleyen yedi temel öğeden birisidir. Birbirine çekim kuvveti ile bağlı iki cismin eliptik yörüngelerde devinim denklemlerini çıkartırken enberinin boylamı genellikle sabit alınır.

Eksen dönmesi nedeniyle ışık eğrilerinde minimum II, 0.5 evreler etrafında salınım yapar.

Bu çalışmada eksen dönmesi gösteren örtün çift sistemler YY Sgr ve PV Cas'ın eksen dönmesi, yeni yapılan gözlemler ışığında incelenmiş ve eksen dönmesi parametreleri hesaplanmıştır.

* ccicek@comu.edu.tr

** abulut@comu.edu.tr

2 Gözlemler

PV Cas'ın yeni minimum gözlemleri Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Gözlemevi (ÇOMUG)'nde 2010 da 30-cm çaplı Schmidt-Cassegrain teleskopu ve buna bağlı ST273 CCD kamera ile yapılmıştır.

Bu araştırmada söz konusu sistemin gözlemlerinde PV Cas için bir minimum zamanı elde edilmiştir. Minimum zamanları ve standart yanlıgıları, Kwee - van Woerden yöntemi (Kwee ve Woerden, 1956) kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 1'de PV Cas için yeni minimum zamanı listelenmiştir. Elde edilen minimum zamanları daha önce belirlenen literatür minimum zamanları ile birleştirilmiş ve eksen dönmesi analizleri yapılmıştır.

3 Eksen Dönmesi Analizi

Eksen dönmesi parametrelerinin bulunmasında en sık kullanılan yöntemlerden biri Lacy (1992) tarafından geliştirilmiştir. YY Sgr ve PV Cas'ın eksen dönmesi analizlerinde Lacy (1992)'nin yöntemini temel alan Zasche (2009) tarafından geliştirilen bilgisayar programı kullanılmıştır. Bu yöntem, örten bir çift yıldız sisteminde ikinci bileşen, birinci bileşen etrafında yörünge hareketi yaparken oluşacak tutulma anında yörünge büyük ekseninin de bir sabit oranında ilerleyeceği kabulüne dayanır.

3.1 YY Sgr

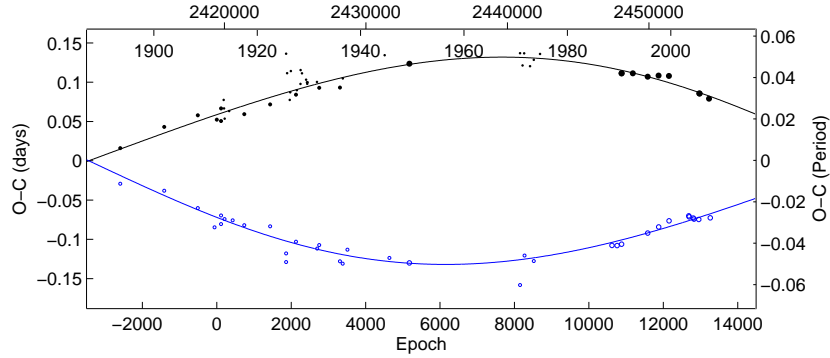
YY Sgr (HD= 173140, BD - 19° 5148, HV 3080, FL 2531; $V = 10^m.03$, Tayf Türü= B5+B6 ve $P = 2.63$ gün) erken tayf türünden ayrık bir örten çift yıldız sistemidir. Sistem ilk kez Pickering (1908) tarafından keşif edilmiştir ve sistemin ilk fotoelektrik ışık eğrisini elde etmiştir. Sistem bir çok araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Bunlardan bazıları Keller ve Limber (1951), Woodward ve Koch (1992), Lacy(1993b), Lacy(1997 ve Wolf(2000), dur.

Ayrıca Wolf ve ark. (2006) dönem değişimini inceleyip sistemde eksen dönmesinin yanında üçüncü bir cismin var olabileceğini göstermiştir. Bu çalışmada eksen dönmesi dönemi için 294.7 yıl değeri verilmiştir.

Sistemin çevrim sayılarını hesaplamak için

$$\text{Min } I(\text{HJD}) = 2448059.6879 + 2.628463 \times E, \quad (1)$$

lineer ışık elemanları kullanılmıştır. Analizlerde Tablo 1'de verilen yeni minimum zamanlarıyla beraber literatürden toplanan, 31 tanesi ikinci minimum olmak üzere, toplam 77 tane minimum zamanı kullanılmıştır. Şekil 1'de verilen ($O-C$) değişimi eksen dönmesi analiz edilmiştir. Sistemin eksen dönmesi parametreleri Tablo 2 de verilmiştir.



Şekil 1. YY Sgr'nin eksen dönmesini gösteren fit.

3.2 PV Cas

PV Cas (HD= 240208, SAO= 35189, BD + 58° 2554, GSC 4010 1411, V= 9^m.86, Tayf Türü= B9.5V + B9.5V, P= 1.75 gün ve e= 0.032) ayırık ve eksen dönmesi gösteren örten bir çift yıldız sistemidir. Geyer (1961) tarafından ilk defa değişen olduğunu keşif edilmiştir. Sistem bir çok bilim adamı tarafından incelenmiştir. Bunlar: Pohl (1969), Ibanoglu (1971, 1974), Busch (1975), Kelemen (1981), Alkan (1981), Gimenez ve Margrave (1982), Popper (1987), Hoord ve Nagasaka (1990), Krzesinski, Pajdosz ve Drozd (1993), Barembaum ve Etzel (1994, 1995), Wolf (1995), Svaricek ve wolf (2008) ve Claret (2008) dir. Bu çalışmada, 39 tanesi birinci minimum olmak üzere, toplam 67 tane fotometrik minimum zamanı kullanılmıştır.

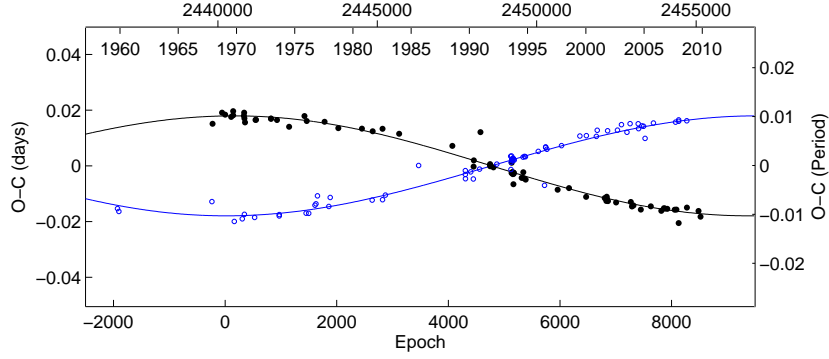
PV Cas'ın çevrim sayılarını hesaplamak için

$$\text{Min I(HJD)} = 2440227.4044 + 1.750469 \times E, \quad (2)$$

lineer ışık elemanları kullanılmıştır. Analizlerde yörünge eğimi için Popper (1987)'in fotometrik analizlerde elde ettiği $i = 85^\circ.35$ yi değeri kullanmıştır. Elde edilen eksen dönmesi parametreleri Tablo 2'de verilmiştir. *O-C* eğrisi de Şekil 2'de görülmektedir.

Tablo 1. Yeni minimum zamanı.

Sistem	HJD+2400000+	Hatası	Çevrim Sayısı(E)	Türü	Filtre
PV Cas	55155.3775	0.0002	8528	I	BVR



Şekil 2. PV Cas'ın (O-C) eksen dönmesini gösteren fit.

4 İç Yapı Sabitleri

Eksen dönmesi çalışmaları, yıldızların (\bar{k}_2), iç yapı sabitlerinin gözlemlerle bulunmasının en önemli yoludur. Ancak bir çift sistemin eksen dönmesi döneminin belirlenmesi, bileşen yıldızların ayrı ayrı iç yapı sabitlerinin bulunmasına olanak vermez. Bu yolla sadece sistem için ortalama bir iç yapı sabiti değeri belirlenebilir. Eksen dönme dönemini, ortalama gözlemsel iç yapı sabitine ($\bar{k}_{2,obs}$) bağlayan ifade Kopal (1978) tarafından verilmiştir.

$$\bar{k}_{2,obs} = \frac{1}{c_{21} + c_{22}} \frac{P}{U}, \quad (3)$$

Burada katsayılarının yaklaşık değerleri,

$$c_{2i} = r_i^5 \left[\left(\frac{\omega_{r,i}}{\omega_k} \right)^2 \left(1 + \frac{M_{3-i}}{M_i} \right) f(e) + \frac{15M_{3-i}}{M_i} g(e) \right], \quad (4)$$

ile bulunur. Bu katsayılar yörünge dışmerkezliği, bileşenlerin kesirsel yarıçapları ve kütleleri ile dönme hızlarının yörünge açılal hızına oranına bağlıdır. Burada ($\dot{\omega}_{rel}$) enberi noktası boylamının değişimindeki relativistik katkıyı temsil eder ve Gimenez (1985) tarafından

$$\dot{\omega}_{rel} = 5.45 \times 10^{-4} \frac{1}{1-e^2} \left(\frac{M_1 + M_2}{P} \right)^{2/3} \quad (5)$$

ifadesiyle verilir. Burada M_1 ve M_2 Güneş kütlesi biriminde bileşenlerin kütleleri, P ise gün biriminde yörünge dönemidir.

5 Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada eksen dönmesi gösteren çift sistemler YY Sgr ve PV Cas'ın dönem analizi, yeni gözlemler ışığında yeniden araştırılmıştır. Yapılan dönem

analizleri sonucunda YY Sgr ve PV Cas'ın için eksen dönmesi dönemleri sırasıyla 298.12 ± 47.55 ve 89.82 ± 4.62 yıl olarak bulunmuştur.

Her iki sistemin salt öğeleri ve eksen dönmesi dönemleri bilindiğinden gözlemsel içyapı sabitleri duyarlı biçimde bulunabilir. Bunun için öncelikle gözlenen eksen dönmesine, relativistik eksen dönmesinin katkısı belirlenmelidir. Gimenez (1985)'in enberi noktasının boylamsal yerdeğiştirmesi için verdiği relativistik katkı bağıntısı kullanıldığında, relativistik eksen dönmesi katkısının YY Sgr için % 13 ve PV Cas için % 6 olduğu görülmektedir. Bu oran, gözlemsel eksen dönmesinden çıkartıldığında ve sistemlerin enberi noktasında eş-dönme yaptığı kabul edildiğinde, YY Sgr ve PV Cas için hesaplanan gözlemsel ortalama içyapı sabitleri sırasıyla $(\log \bar{k}_{2,obs}) = -2.293$ ve $(\log \bar{k}_{2,obs}) = -2.454$ olarak hesaplanır.

Bu değerler Petrova ve Orlov (2002)'den belirlenen teorik ortalama içyapı sabitleriyle karşılaştırıldığında değerler arasında uyumun olduğu görülmektedir.

Tablo 2. YY Sgr ve PV Cas'ın yeni ışık elemanları ve $(O-C)$ değişiminden elde edilen parametreler.

Parameter	Unit	YY Sgr	PV Cas
T_0	HJD	2419467.0348 ± 0.0161	2440227.3877 ± 0.0020
P_s	day	2.628474 ± 0.000002	1.7504696 ± 0.0000003
e		0.15612 ± 0.02678	0.03184 ± 0.00407
$\dot{\omega}$	deg/cycle	0.00869 ± 0.00165	0.01921 ± 0.00104
ω_0	deg	119.93 ± 4.22	178.26 ± 1.07
i	deg	88.88	85.35
U	yr	298.12 ± 47.55	89.82 ± 4.62

Kaynaklar

- Alkan, H.: Analysis of the light curves of PV Cassiopeiae by use of automatized Fourier techniques. *Astrophysics and Space Science*, vol. **75** (1981) 455-463
- Barembaum, M. J., Etzel, P. B.: A Photometric Analysis of the Apsidal Motion Binary System PV Cassiopeiae. *Astronomical Journal*. **109** (1995) 2680
- Busch H.: *Mitt. Brono-H. - Bürgel- sternwarte Hartha*. **9** (1975) 5
- Claret, A.: The role of the stellar rotation on the internal constitution of PV Cassiopeiae. *Astronomy and Astrophysics*. **490** (2008) 1103-1107
- Geyer, E.: Die Lichtkurven und Systemkonstanten der Bedeckungsveränderlichen BV 72= PV Cas und BV 200= BD + 76°790. Mit 4 Textabbildungen. *Zeitschrift für Astrophysik*, Vol. **51** (1961) 79
- Gimenez, A.: General-relativistic periastron advances in eclipsing binary systems. *Astrophysical Journal* vol. **297** (1985) 405-412
- Gimenez, A., Margrave, T. E.: The Apsidal Motion of Pv-Cassiopeiae. *Astronomical journal*. **87** (1982) 1233

- Hoard, D. W., Nagasako, E., Sandmann, W.: Time of Eclipse for the Binary System PV Cas. *Information Bulletin on Variable Stars*. **3462** (1990) 1
- Ibanoglu, C.: Photoelectric Light Curves of PV Cassiopeiae. *Information Bulletin on Variable Stars*. **555** (1971) 1
- Ibanoglu, C.: The eccentric orbit of PV Cassiopeiae. *Astron. Astrophys.* **35** (1974) 483–486
- Kelemen, J.: Photoelectric Minima of the Eclipsing Binary PV Cassiopeiae. *Information Bulletin on Variable Stars*. **1923** (1981) 1
- Keller, G., Limber, D. N.: A Photoelectric Study of the Eclipsing Stars RS Canum Venaticorum and YY Sagittarii. *Astrophysical Journal*. **113** (1951) 637
- Kopal, Z.: Dynamics of close binary systems. *Astrophysics and Space Science Library*. **68** (1978) 524
- Krzesinski, J., Pajdosz, G., Drozd, M.: An O-C diagram analysis of PV Cassiopeiae. *Astrophysics and Space Science*. **204** (1993) 191–197
- 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
- Lacy, C. H. S.: The photometric orbit and apsidal motion of YY Sagittarii. *Astronomical Journal*. **105** (1993) 637–645
- Lacy, C. H. S.: Absolute Dimensions and Masses of YY Sagittarii and V526 Sagittarii. *Astronomical Journal*. **113** (1997) 1091
- Petrova, A. V., Orlov, V. V.: Apsidal Motion in Detached Binary Stars: Comparison of Theory and Observations. *Astrophysics (English translation of Astrofizika)*. **45** (2002) 334–341
- Pickering, E. C.: 25 New Variable Stars in Harvard Map, Nos. 31 and 43. *Harvard College Observatory Circular*. **137** (1909) 1–4
- Pohl, E.: PV Cassiopeiae—an Eclipsing Binary with Eccentric Orbit. *Information Bulletin on Variable Stars*. **386** (1969) 1
- Pohl, E., Kizilirmak, A.: Photoelectric Minima of Eclipsing Binaries. *Information Bulletin on Variable Stars* 456 1971 1. **456** (1971) 1
- Popper, D. M.: Rediscussion of eclipsing binaries. XVI - The detached early A type binaries PV Cassiopeiae and WX Cephei. *Astronomical Journal*. **93** (1987) 672–677
- Svaricek, P., Wolf, M., Claret, A., Kotkova, L., Brát, L., Smelcer, L., Zejda, M.: Rapid apsidal motion in eccentric eclipsing binaries: OX Cassiopeia, PV Cassiopeia, and CO Lacertae. *Astronomy and Astrophysics*. **477** (2008) 615–620
- Wolf, M.: Apsidal motion in the eclipsing binary PV Cassiopeiae. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. **277** (1995) 95–98
- Wolf, M.: Apsidal motion in southern eccentric eclipsing binaries: YY Sgr, V523 Sgr, V1647 Sgr, V2283 Sgr and V760 Sco. *Astronomy and Astrophysics*. **356** (2000) 134–140
- Wolf, M., Niarchos, P. G., Gazeas, K. D., Manimanis, V. N., Kotková, L., Paschke, A., Zejda, M.: Eccentric Eclipsing Binary YY Sagittarii. *Astrophysics and Space Science*. **304** (2006) 181–183
- Woodward, E. J., Koch, R. H.: Analyses of photoelectric light curves of YY Sagittarii. *Astronomical Journal*. **104** (1992) 796–800
- Zasche, P.: *New Astronomy*. **14** (2009) 121