

GÖKADAMIZDA KEŞFEDİLEN TÜR II CEPHEİD BİLEŞENLİ İLK ÖRTEN ÇİFT YILDIZ SİSTEMİNİN IŞIKÖLÇÜMÜ

Esin SİPAHİ*, Serdar EVREN*

**Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 35100
Bornova-İzmir*

e-mail: esin.sipahi@mail.ege.edu.tr, sevren@ege.edu.tr

Özet

Bu çalışmada Cepheid bileşenli bir örten çift olan TYC 1031 1262 1 sisteminin, Ege Üniversitesi Gözlemevi'nde 2008 gözlem sezonunda U, B, V ve R süzgeçlerinde yapılmış fotometrisi sunuldu. Örten çift sistem 51.38 gün gibi uzun bir yörünge dönemine sahiptir ve bileşenlerden biri Cepheid türü zonklamalar gösterir. Gökadamız içinde yer aldığı belirlenen Tür II Cepheid bileşenli bu örten çift yıldızının keşfi, 2007 yılında Antipin ve diğ. tarafından duyurulmuştur. Bu özelliklere sahip olarak gökadamızda bulunan ilk örten çift sistemdir. Yapılan çalışmada sisteme ilişkin elde edilen çokrenk ışık ve renk eğrileri standart parlaklık ve renklere dönüştürülmüştür. Işık eğrilerinde Cepheid bileşenin zonklamasının ve sistemin bileşenlerinin birbirini örtmesinden kaynaklanan değişim birlikte görülmesine rağmen baskın ışık değişiminin Cepheid bileşenin zonklamasından kaynaklandığı açıkça görülür. Işık eğrileri üzerinden yapılan dönem analizi sonucunda Cepheid türü zonklama gösteren bileşene ilişkin zonklama dönemi 4.1597 gün olarak bulundu. Bulunan bu döneme ilişkin zonklama değişimi ışık eğrilerinden arındırıldığında geriye kalan ışık değişimi β Lyr türü bir örten çiftin ışık değişimini gösterir. Elde edilen bu ışık değişiminde V süzgeci için baş minimum derinliği $0^m.32$, yan minimum derinliği ise $0^m.10$ olarak belirlendi. Sisteme ilişkin ışık eğrilerinin analizinden elde edilen ilk sonuçlar bu çalışmada

verildi. Fotometrik gözlemlerine devam edilen bu çalışma aynı zamanda bir TÜBİTAK hızlı destek projesi olarak devam ettirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Tür II Cepheid, örten çift, zonklama.*

Abstract

In this study, the UBVR photometry of TYC 1031 01262 1 which is an eclipsing binary system with a Type II Cepheid component at Ege University Observatory in 2008 observing season are presented. The eclipsing binary system has a long orbital period ($P=51d.38$) and the one of the component of the system shows pulsation behavior. The first known galactic eclipsing binary with a Type II Cepheid component has been discovered by Antipin et al. in 2007. The multi-colour light and colour curves obtained in this study were subsequently transformed to the standard UBVR system. Although the eclipsing variations and pulsation behavior of the one component of the system occur together in the light curves, the dominant pulsation variation of the Cepheid component are seen clearly. We used a periodogram analysis to look for the pulsation period. The period of the Cepheid have been derived 4.1597 days. The pulsation variation was subtracted from light curves. The shape of the residual light variation indicates that the system is a β Lyr type binary. In this light curve the depth of the primary minimum in V filter is $0^m.32$ and the secondary minimum is $0^m.10$. The first results of the analysis of the light curves are presented. This study is a project of TUBITAK and the photometric observations of the system are continuing.

Keywords: *Type II Cepheid, eclipsing binary, pulsation.*

1. Giriş

HR diyagramında kararsızlık kuşağında yer alan Öbek II zonklayan değişenleri (örn. RV Tauri, W Virginis, BL Herculis ve RR Lyrae yıldızları) yıldız evrimi ve zonklama teorileri üzerine bilgilerimizi test etmek açısından önemli bir yere sahiptir. Yirminci yüzyılın başlarında Küçük Macellan Bulutu'ndaki Cepheidler üzerine

yapılan çalışmada dönem-ışıtma bağıntısının bulunması ile bu yıldızlar evrende uzaklık belirlemek için en önemli kaynaklar durumuna gelmiştir. Gökadamızdaki Cepheidler Tür I (Klasik Cepheidler) ve Tür II Cepheidleri olmak üzere iki farklı gruba ayrılır. Tür I Cepheidleri birkaç güneş kütleli genç disk yıldızları iken Tür II Cepheidleri yaşlı disk, ince disk ya da halo yıldızları olabilmektedir. Tür II Cepheidleri astrofiziğin birçok alanına katkıda bulunabilecek türden değişen yıldızlar olmalarına rağmen literatürde çok sınırlı sayıda örnek bulunur. Örten bir çift sistemin bir Cepheid bileşene sahip olması astrofiziksel ve kozmolojik açıdan çok ender rastlanan bir durumdur. Günümüzde Tür II Cepheid bileşen içerdiği bilinen ve gökadamızda olan üç sistem vardır; TX Del, IX Cas ve AU Peg. Fakat bu sistemler düşük yörünge eğimi açısına (i) sahip olduklarından ışık eğrilerinde tutulma görülmemektedir. Gökadamız dışında Tür I ve Tür II Cepheid bileşenli ve uzun yörünge dönemli üç örten çift sistemin Büyük Macellan Bulutu'nda keşfi OGLE ve MACHO programları ile duyurulmuştur (Alcock ve diğ., 2002). Bu tür sistemlerin uzun zaman ölçeklerinde çokrenk fotometrik davranışını incelemek oldukça önemlidir.

Gökadamız içinde yer aldığı belirlenen Tür II Cepheid bileşenli örten çift yıldızının (TYC 1031 01262 1) keşfi, 2007 yılında Antipin ve ark. tarafından duyurulmuştur. Bu çalışmada TYC 1031 01262 1 örten çift sisteminin çokrenk ışıkölçümü yapılmış ve sisteme ilişkin ışık ve renk eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen ışık değişimlerinden sistemin doğasına ilişkin ulaşılan ilk sonuçlar verilmiştir.

2. Gözlemler

TYC 1031 1262 1 sisteminin fotoelektrik gözlemleri 2008 yılı gözlem sezonunda Ege Üniversitesi Gözlemevi'nin 48-cm çaplı teleskobuna bağlı yüksek hızlı üç kanallı Vilnius fotometresi ile UBVR süzgeçlerinde ve 35-cm çaplı Meade teleskobuna bağlı Apogee U42 CCD ışıkölçer ile BVR süzgeçlerinde yapılmıştır. Gözlemler sırasında TYC 1031 193 1 mukayese ve TYC 1031 1445 1 denet yıldızı olarak kullanılmıştır. Diferansiyel parlaklıkların standart parlaklıklara dönüştürülebilmesi için sistem 48-cm teleskopta

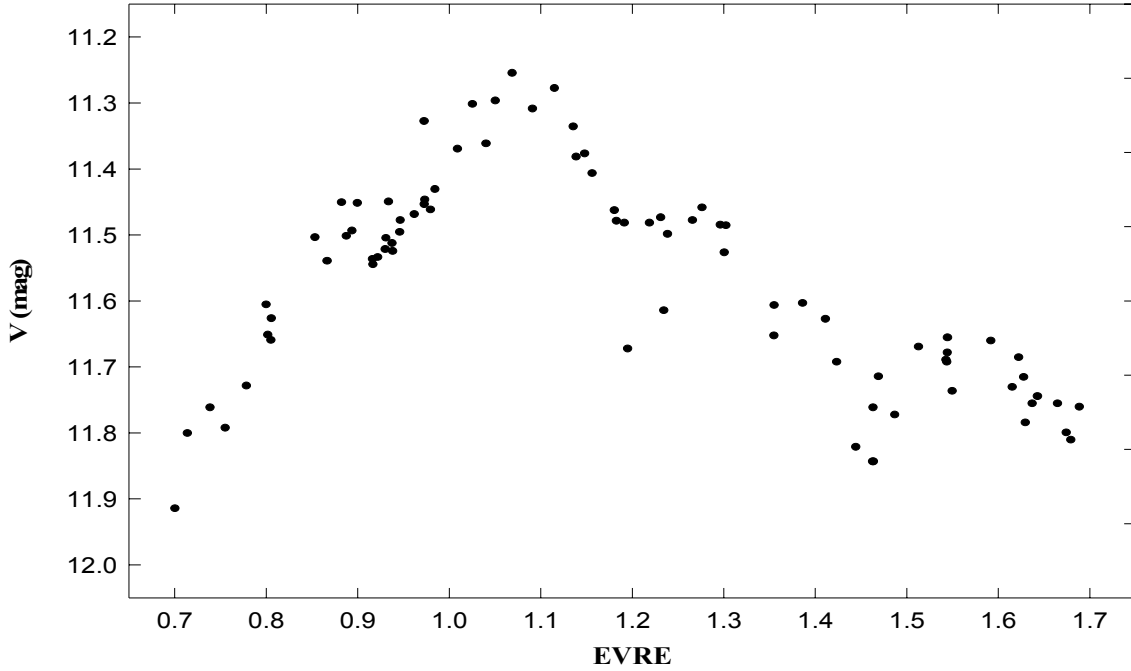
gözlenmek üzere Landolt (1992)'den seçilen BD $-00^{\circ} 3356$ ($V=10.^m353$, $U-B=0.^m227$, $B-V=0.^m609$, $V-R=0.^m376$) yıldızı ve 35-cm teleskopta CCD gözlemleri için kullanılmak üzere SA 109 standart bölgesi ile birlikte gözlenmiştir. Gözlem gecelerine ait bilgiler ise Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. *TYC 1031 1262 1 sisteminin gözlem gecelerine ait bilgiler*

Gözlem Aralığı	Gece Sayısı	Nokta Sayısı	Teleskop
2 Mart-5 Ağustos 2008	54	917	35-cm
24 Nisan-29 Temmuz 2008	22	205	48-cm

Sistemin yörünge dönemi ($P=51.38$ gün) uzun olduğu için fotometrik ölçümleri genel olarak her gözlem gecesinde ortalama bir-iki saat süreyle yapılmıştır. Ortalama gözlem süresinin kısalığı nedeniyle indirgeme işlemleri sırasında diferansiyel parlaklıkların (değişen-mukayese) atmosferik sönükleştirme etkilerinden arındırılması işleminde Ege Üniversitesi Gözlemevi için belirlenmiş ortalama sönükleştirme katsayıları ($k(U)=0.75$, $k(B)=0.50$, $k(V)=0.35$, $k(R)=0.25$) kullanılmıştır. Gözlem zamanları güneş merkezine indirgenmiştir.

TYC 1031 1262 1 sisteminin 2008 gözlem sezonunda V süzgecinde elde edilen ışık değişimi Şekil 1'de verilmektedir. Işık eğrilerindeki gözlem noktaları bir gece içinde elde edilen gözlem noktalarının ortalamalarıdır.



Şekil 1. TYC 1031 1262 1'in 2008 gözlem sezonunda V süzgecinde elde edilen ışık değişimi (Cepheid bileşenin zonklama dönemine göre evrelendirilmiştir).

3. TYC 1031 1262 1 Sistemine İlişkin Işık ve Renk Değişimleri

TYC 1031 1262 1'in değişim gösterdiği ASAS-3 (All-Sky Automated Survey) gözlemleri sonucu belirlendi (Pojmánski ve diğ., 2005). Yıldızın daha sonrasındaki gözlemleri NSVS (Northern Sky Variability Survey) veri tabanında devam ettirildi (Wózniak ve diğ., 2004). Yapılan gözlemler sonucunda araştırmacılar tarafından yıldızın Cepheid türü bir değişim gösterdiği düşünülmüş fakat doğasından tam olarak emin olunamamıştır. Antipin ve diğ. (2007) V süzgecinde yaptıkları fotoelektrik gözlemler sonucunda yıldızın Cepheid türü zonklamalar gösterdiğini ve aynı zamanda da bir örten çift sistem olduğunu keşfettiler.

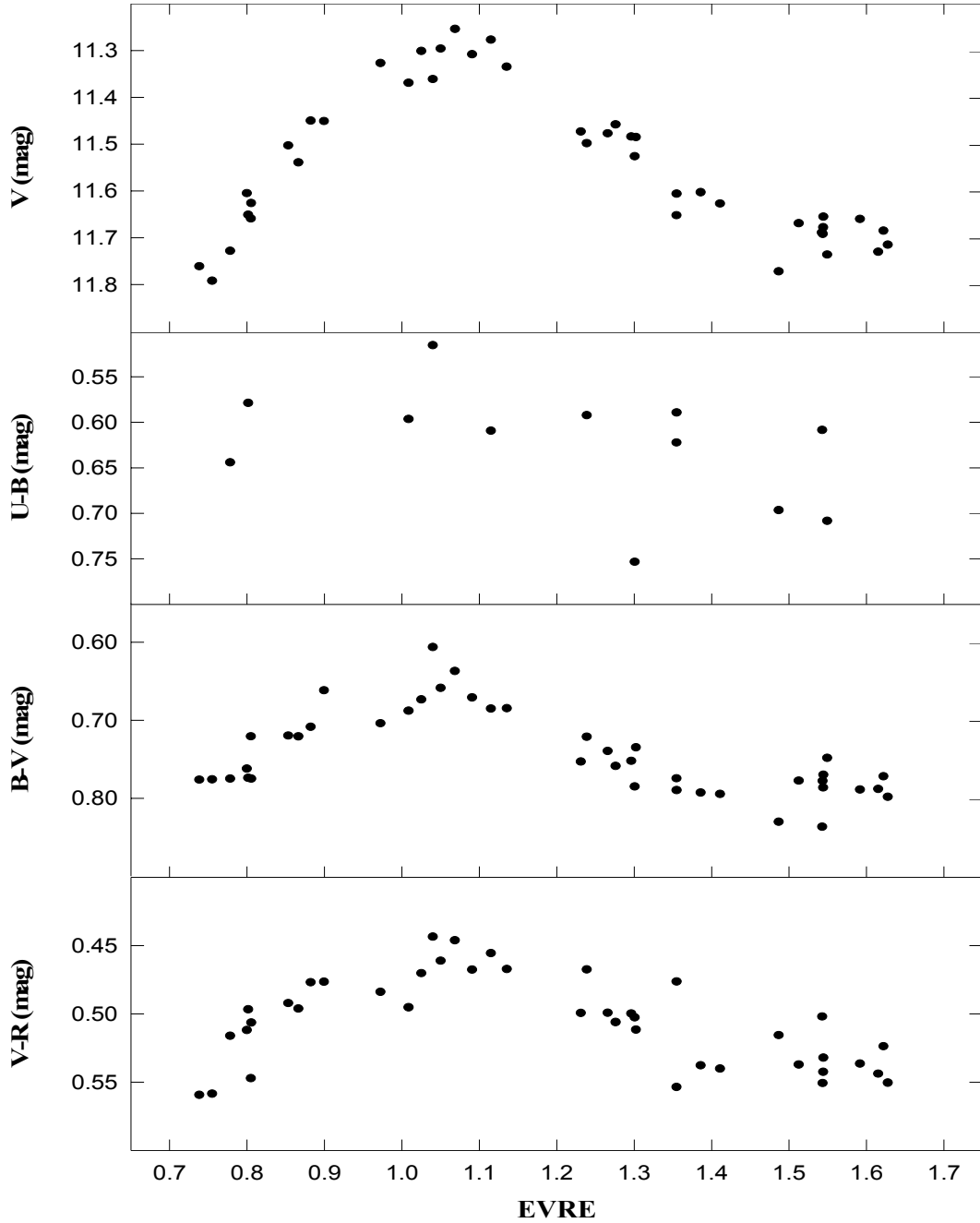
Bu çalışmada V süzgecinde elde edilen ışık değişimi Şekil 1'de verilmişti. Eldeki fotometrik veri (JD'ye karşılık V parlaklıkları) PERIOD04 (Scargle, 1982) dönem analizi programı ile analiz edildi ve sisteme ilişkin zonklama dönemi 4.1597 gün olarak bulundu.

Gözlem süresi içerisinde zonklamaya ilişkin bir dönem değişimi belirlenmedi. Zonklama değişimi için ışık öğeleri

$$\text{HJD (maksimum)} = 24\,54634.5180 + 4^{\text{g}}.1597 \times E$$

olarak tekrar belirlendi. Yapılan gözlemlerde maksimum ışığın elde edildiği HJD, T_0 olarak alındı. Zonklama dönemi uzun olduğundan bir saatte küçük bir evre aralığı (~ 0.01) ilerlemektedir. Bu nedenle maksimumda belirgin bir parlaklık değişimi görülmeyeceğinden o anın HJD'si T_0 olarak kullanılabilir.

Şekil 1'de verilen ışık eğrisi Cepheid bileşenin zonklama dönemine göre evrelendirilmiştir. Bilinen Cepheid türü ışık değişimi dışında ışık eğrisinde farklı evrelerde saçılmış noktalar görülür. Bu değişimin kaynağı ise çift sistemin bileşenlerinin birbirini örtmesidir yani minimum evrelerine denk gelen ışık değişimleridir. Bu değişimi daha net görebilmek için ışık eğrisinde baskın olarak görülen zonklama değişimini çıkartmak gerekir. Sistemin yörünge dönemi büyük olduğundan gözlem sezonunda minimumlar çok az denk gelmektedir ve minimum evreleri birkaç gün sürmektedir. Bu çalışma hazırlandığında sistemin baş minimum evrelerinde sadece iki kez gözlem yapılmıştır. Bu nedenle dönem analizi programında zonklama frekansı dışında ikinci bir frekansın bulunması mümkün olmamıştır. Bu durumda elimizdeki ışık değişiminden minimum evrelerini atarak Cepheid bileşene ait zonklama değişimini temsil ettik. Şekil 2'de bu şekilde elde edilen V süzgecindeki ışık değişimi ve renk eğrileri görülmektedir.

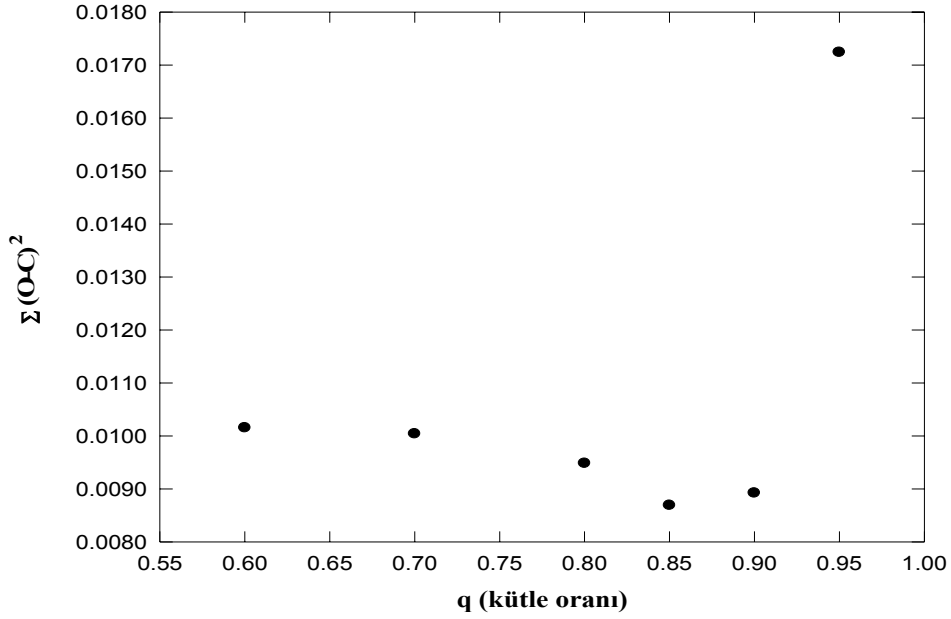


Şekil 2. TYC 1031 1262 1'in 2008 gözlem sezonunda V süzgecinde elde edilen ışık ve renk değişimleri (Cepheid bileşenin zonklama dönemine göre evrelendirilmiştir).

Genel olarak bakıldığında zonklamaya ilişkin ışık ve renk değişimleri benzerdir. U-B renk değişiminde U süzgecinde gözlem verisinin az olmasından dolayı çok net bir değişim görülmemektedir. Tüm ışık değişimlerinde maksimum ışığın aynı evrede olduğu açıkça görülür. Literatürdeki cepheid türü değişimler ile karşılaştırıldığında

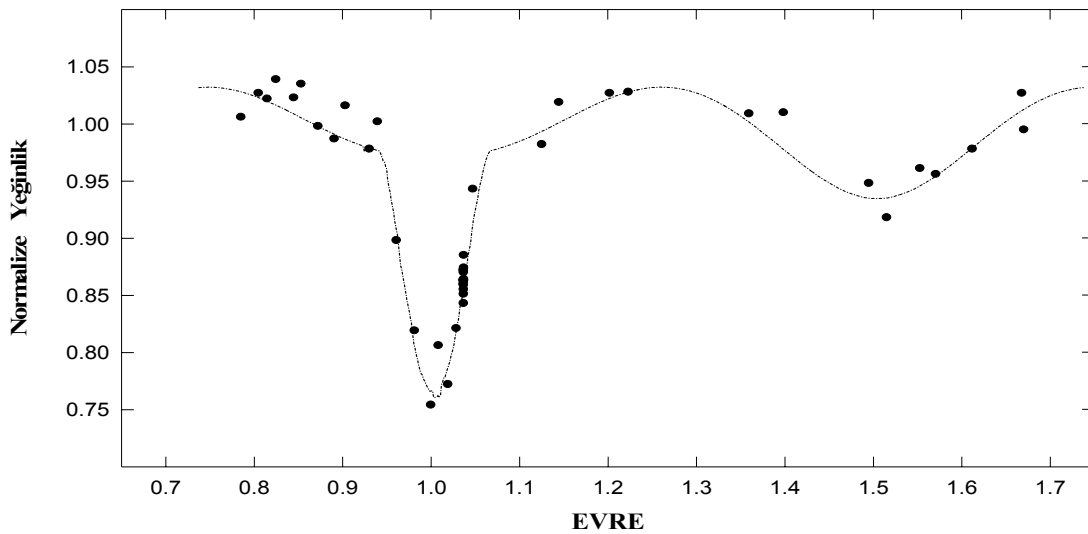
daha simetrik bir görünüme sahiptir. Işık eğrisinde düzgün değişimin yanısıra yaklaşık 0.55 evrede küçük bir çıkıntı (bump) göze çarpar. Bu değişim Tür II Cepheidleri üzerinde tartışılan bir durumdur. Cepheidlerde çift zonklama döneminin varlığı ve ışık değişimlerinde ikinci çıkıntının oluşum mekanizması hala tartışma konusudur. Cepheidlerin ışık değişimindeki bu ikinci çıkıntının evresi klasik Cepheidler için tanımlanmıştır (Pel, 1976). Temel zonklama dönemi 6 gün civarında olan Cepheidlerin ışık eğrilerinde ikinci çıkıntı maksimum ışığın görüldüğü evreden 0.4 evre kadar sonra görülmektedir. Bahsedilen durum Tür II Cepheidleri için ise BL Her değişenlerinde görülür (King ve ark., 1981). BL Her yıldızları zonklama dönemleri 7 günden daha kısa olan Tür II Cepheid yıldızlarıdır. Bu yıldızların ışık değişimlerinde de görülen “ikinci çıkıntı” değişimini klasik cepheidler ile karşılaştırmak için daha fazla gözlemsel veriye gereksinim vardır. V renginde zonklam değişiminin genliği $0^m.5$ 'dir. Bu değer Antipin ve diğ. (2007)'de elde edilen değişime benzerdir. Renk eğrilerinin V rengindeki ışık değişimine benzer olduğu görülür. U-B renk değişimi nokta sayısının azlığından dolayı anlamlı bir değişim vermemektedir.

V süzgecinde elde edilen ışık değişiminden zonklama değişiminin çıkartılması ile elde edilen ışık eğrisi Şekil 3'te görülmektedir. Elde edilen fark parlaklık değişiminde baş minimum derinliği $0^m.32$ iken yan minimum derinliği $0^m.10$ 'dir. Sisteme ilişkin tayfsal çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle gerek bileşenlerin sıcaklıkları gerekse kütleleri (ya da kütle fonksiyonu) bilinmemektedir. Sistemin V rengindeki ışık eğrisinin ilk incelemeleri için şu yaklaşımlar yapıldı. Sistemin ışık değişimlerinde baskın değişimin kaynağı Cepheid bileşenin zonklaması olduğu için ve aynı zamanda arındırılmış ışık eğrisinde maksimumlardaki renkler bize bir F yıldızını işaret ettiği için baş bileşen olarak Cepheid türü zonklama değişimi gösteren yıldızı kabul ettik. Literatürde tayf türü ve ısıtma sınıfı F8I olarak verilen yıldız için sıcaklık değerini Allen (2000)'den 5750 K olarak kullandık. Sisteme ilişkin bir kütle oranı değerine sahip olmadığımızdan q taraması yapıldı. Elde edilen değişim Şekil 3'te verildi.



Şekil 3. TYC 1031 1262 1 sisteminin q taraması sonucu

Şekil 3'te görüldüğü gibi en küçük $\Sigma(O-C)^2$ değerini veren 0.85 değeri kütle oranı olarak çözümde kullanıldı. Wilson-Devinney ışık eğrisi analiz programı ile yapılan ilk analizlerin sonucuna göre sistemin ikinci bileşeninin sıcaklığı 3950 K ve sistemin yörünge açısı (i) 65° olarak elde edildi. Şekil 4'te analiz sonucu elde edilen kuramsal eğrinin gözlemler ile uyumu görülmektedir.



Şekil 4. TYC 1031 1262 1 sisteminin V süzgecinde elde edilen ışık eğrisinin analizi sonucunda elde edilen kuramsal eğri ile gözlemlerin uyumu

Sistemin Cepheid bileşeninden kaynaklanan zonklama özelliğini kullanarak da önemli parametrelere ulaşmak mümkündür. Bilinen en önemli eşitlik dönem-ışıtma bağıntısıdır. 2008 yılında yayımlanan bir çalışmada Tür II Cepheidleri için dönem ile salt parlaklık arasında

$$M_V = -1.64 \log P + 0.05$$

bağıntısı verildi (Feast ve diğ., 2008). Bu ilişkiden TYC 1031 1262 1 sistemi için zonklama dönemi $P = 4.1597$ gün değeri kullanılarak salt parlaklık $-0^m.965$ olarak bulundu. Sistemin gökada koordinatları SIMBAD veri tabanında $l = 41^\circ.01$ ve $b = +11^\circ.07$ olarak verilir. Burstein ve Heiles (1982)'in gökada için kızıllaşma üzerine yaptıkları çalışmalarından sisteme ilişkin E(B-V) değeri yaklaşık $0^m.09$ olarak alındı. Sistemin fotometrik gözlemlerinden V süzgecinde görünür parlaklığı $11^m.3$ olarak elde edildi. Eldeki tüm bu değerler ve $A_V = 3.1 \times E(B-V) = 0^m.279$ değeri uzaklık modülü ifadesinde yani

$$m - M = -5 + 5 \log d + A_V$$

eşitliğinde yerine konularak uzaklık $d = 1026$ pc yani ~ 1 kpc olarak bulundu.

Bono ve diğ. (2001)'de Cepheid değişenlere ilişkin olarak verilen

$$\log R = 1.25 + 0.755 \log P \quad \text{ve} \quad \log M = -2.776 - 1.661 \log P + 2.682 \log R$$

eşitlikleri kullanılarak Cepheid bileşene ilişkin yarıçap $R = 52 R_\odot$ ve $M = 6.3 M_\odot$ olarak hesaplandı.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada TYC 1031 1252 1 örten çift sisteminin 2008 gözlem sezonunda UBVR süzgeçlerinde elde edilen ışık eğrileri ve renk eğrileri ve bunlara ilişkin değerlendirmeler sunuldu. Sisteme ilişkin ışık ve renk eğrilerinin benzer şekilde değiştiği görüldü. Cepheid bileşene ait zonklama dönemi 4.1597 gün olarak belirlendi. Zonklama değişiminin tüm ışık değişiminden çıkartılmasıyla elde edilen değişimden β Lyr türü bir örten çiftin ışık değişimi elde edildi.

V rengeinde elde edilen ışık eğrisinin analizi yapılarak ilk sonuçlara ulaşıldı. Sisteme ilişkin tayfsal veri bulunmadığından ikinci bileşenin doğası hakkında birşey söylemek zordur. Daha sonraki aşamada sistemin çokrenk ışık eğrileri birlikte analiz edilerek daha ayrıntılı incelemeler yapılacaktır.

Sistemin Cepheid bileşeninin zonklama doğasından faydalanarak bazı parametrelere ulaşmak mümkündür (etkin sıcaklık, yarıçap, kütle, vs). Bunun için Tür II Cepheidlerine ilişkin belirlenmiş eşitlikler kullanıldı. Sistemin zonklama dönemi kullanılarak dönem-ışıtma bağıntısından yola çıkılarak uzaklık ~ 1 kpc olarak bulundu. Sisteme ilişkin hız değerleri olmadığı için Cepheid sınıflaması ışık eğrisinden görülen değişimlere ve uzaklığına bağılı olarak yapılabilir. TYC 1031 1262 1 sistemi için bulunan uzaklık bir klasik Cepheid olması için oldukça fazladır. Sistemin zonklayan bileşeni bir Tür II Cepheididir.

Sistemin daha sonraki dönemde yapılacak çokrenk ışık eğrisi analiz sonuçları ile zonklama özelliğinden belirlenen parametrelerin karşılaştırılması ile önemli aşamalara gelinecektir. Sistemin tayf gözlemlerinin yapılması gerekmektedir. Örtün çiftlerde zonklamanın çalışılması, zonklayan yıldızların yapısı ve evrimi çalışmalarında geniş bir çeşitlilik sağlar. Bu sistemlerin çalışılması yakın çiftlerde bulunan farklı türdeki zonklayan yıldızlar için zonklama teorilerini test etmeyi de olanaklı kılacaktır.

Teşekkür. Bu çalışma TUBITAK tarafından 108T237 No'lu Hızlı Destek projesi olarak desteklenmektedir.

Kaynaklar:

- Alcock, C., Allsman, R. A., ve diğ., 2002, ApJ, 573, 338.
Allen, C.W., 2000, Astrophysical Quantities, p. 388.
Antipin, S. V., Sokolovsky, K. V., Ignatieva, T. I., 2007, MNRAS, 379L, 60.
Bono, G., Gieren, W.P., Marconi, M, Fouque, P., 2001, ApJ, 552, L141.
Burstein, D., Heiles, C., 1982, AJ, 87, 1165.
Feast, M,W., ve diğ., 2008, MNRAS, 386, 2115.
King, D.S., Cox, A.N., Hodson, S.W., 1981, AJ, 224, 242.
Pel, J.W., 1976, AA&S, 24, 413.
Pojmanski, G., Pilecki, B., Szczygiel, D., 2005, AcA 55, 275.
Scargle, J.D., 1982, ApJ, 263, 835.
Wózniak P. R, ve diğ., 2004, AJ, 127, 2436.