

V502 Ophiuchi Çift Yıldız Sisteminin Işık Eğrisi ve Dönem Analizi

Selim O. Selam¹, Özgür Baştürk², Aslı Esmaslı¹, Hakan V. Şenavcı¹, Berahitdin Albayrak¹

Özet

V502 Ophiuchi örten çift yıldız sisteminin 2005 yılında TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde, BVR bantlarında elde edilen ışık eğrileri, sistemin fiziksel parametrelerini belirlemek üzere, güncel tayfsal kütle oranı da dikkate alınarak PHOEBE analiz programı ile modellendi. Analiz sonucunda W-türü bir W UMa sistemi olan V502 Oph'nin ışık eğrileri, birinci bileşen üzerinde güneş benzeri soğuk bir lekenin varlığı altında başarılı bir şekilde modellendi ve sisteme ilişkin güncel fiziksel parametreler hesaplandı. Ayrıca, Ankara Üniversitesi Rasathanesi'nde 2009 yılı içinde sistemin ek ışıkölçüm gözlemleri yapılarak yeni minimum zamanları elde edildi. Bu minimum zamanları, literatürden toplanan tüm yayınlanmış minimum zamanları ile birleştirildi ve sistem için güncel bir dönem değişimi analizi gerçekleştirildi. Bu analiz sonucunda ise sistemin yörünge döneminin azalmakta olduğu tespit edildi ve bu azalmaya neden olabilecek mekanizma için bileşenler arası kütle aktarımı önerildi.

Anahtar Kelimeler. Örten çift yıldızlar, Yıldızların fotometrik analizi, Yıldızların mutlak boyutları, Yıldızların dönem değişimi analizi.

Abstract

BVR light curves of the eclipsing binary V502 Ophiuchi which are obtained at TÜBİTAK National Observatory in 2005 were analyzed with the aid of the PHOEBE analysis code to determine the physical parameters of the system. An updated mass ratio value was used during these analyses. The light curves of the W-type W UMa system V502 Oph were successfully modelled by assuming the existence of a solar-type cool spot on the surface of the primary component and up-to-date physical parameters of the system were

¹ Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü 06100, Tandoğan, Ankara

² Ankara Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezi 06837, Ahlatlıbel, Ankara

determined. Moreover, additional photometric observations were performed at Ankara University Observatory in the year 2009 and new times of minima were derived. These new times of minima were combined together with the all published timings in the literature and an up-to-date period variaton analysis was also performed for the system. As a result of this analysis it was determined that the orbital period of the system is decreasing. Mass transfer between the component stars was suggested as the mechanism to explain this observed period decrease.

Key words. Eclipsing binaries, Photometric analysis, Absolute dimensions of stars, Period analysis.

1. Giriş

V502 Oph (BD+00° 3562, HD 150484, HIP 081703, $V_{maks}=8^m.53$) yıldızının örten bir çift sistem olduğu Hoffmeister (1935) tarafından tespit edildi. Yıldızın örten bir çift sistem olduğunun anlaşılmasından kısa bir süre sonra Lause (1937) sistemin ışık elemanlarını belirledi. Sistemin ilk fotoğrafik ve ilk fotoelektrik minimumları sırasıyla Nekrasova (1943) ve Kwee (1958) tarafından yayınlandı. Hinderer (1960), sistemin fotoelektrik ışıkölçüm gözlemleriyle elde ettiği iki renk ışık eğrilerini, çözümleriyle birlikte yayınladı. Bunu peşpeşe yapılan bir dizi fotoelektrik ışıkölçüm çalışmaları izledi (bkz. Wilson 1967, Kwee 1968, Binnendijk 1969, Vader ve van der Wal 1973 ve Polushina 1975). Bu çalışmalarda ağırlıklı olarak sistemin ışık eğrisinde izlenen asimetri üzerinde duruldu. Maceroni vd. (1982) ile Zola ve Krzesinski (1988) V502 Oph sisteminin ışık eğrilerini, Wilson ve Devinney'in (1971) ışık eğrisi analiz metodu ile analiz ettiler ve çözüm sonuçlarını yayınladılar. Sistemin bir başka fotometrik yörünge çözümü ise Rovithis vd. (1988) tarafından, o an için mevcut en güncel tayfsal kütle oranı kullanılarak gerçekleştirildi.

Sistemin tayfsal gözlemlerinden elde edilen dikine hız eğrileri ve bunların analizi ile hesaplanan tayfsal yörünge elemanları Struve ve Gratton (1948), Struve ve Zebergs (1959), King ve Hilditch (1984) ve Pych vd. (2004) tarafından yayınlandı. Pych vd. (2004), sistemin bütünsel tayf türünü G0V ve tayfsal kütle oranını ise $q_{sp} = 0.335 \pm 0.009$ olarak verdiler.

V502 Oph'nin yörünge döneminin değişim gösterdiği ilk kez Kwee (1958) tarafından bildirildi. Binnendijk (1969), sistemin yörünge döneminin 1955-1966 yılları arasında ani değişimler gösterdiğini önerdi. Rovithis vd. (1988) ise sistemin döneminin yüzyıl başına 0.05 saniye gibi bir oranla sürekli olarak azaldığını tespit ettiler ve sistemde toplam açısal momentumun korunduğu varsayımı altında büyük kütleli bileşenden küçük kütleliye yılda $3 \times 10^{-5} M_{\odot}$ hızla bir kütle aktarımının gerçekleşmekte olduğunu bildirdiler. Hobart vd. (1989) ise sistemin dönem değişimine ilişkin yaptıkları çalışmada dönem azalma oranını yüzyıl başına 1.64 sn olarak verdiler. Derman ve Demircan (1992), sistemin yörünge döneminde izlenen ve bileşenler arası kütle aktarımından kaynaklandığı öne sürülen bu seküler azalma karakterinin toplam etkiden çıkarılması halinde geriye düzenli bir

salınımın kaldığını öne sürdüler. Bu salınımın, çevrimli manyetik etkinlik olgusundan kaynaklanabileceği düşüncesiyle sistemin ışık eğrilerinde izlenen asimetride çevrim yapısının izlerini aradılar, ancak bulamadılar. Bunun üzerine, sistemin yörünge döneminde izlenen düşük genlikli çevrimsel yapıyı dönem değişimini sisteme fiziksel olarak bağlı ilave bir cismin varlığı kabulü altında analiz ettiler ve ilave cismin kütlelerini $0.3 M_{\odot}$ olarak tahmin ettiler. Liu ve Yang (2006) ve Yüce vd. (2006) sistemin göstermekte olduğu dönem değişimini, biriken yeni verilerin ışığı altında tekrar analiz ettiler ve dönem değişimi mekanizmaları için Derman ve Demircan'ın (1992) önerilerini takip ederek analiz sonuçlarını güncellediler. Böylece, yörünge düzleminin yakın çift sistemin yörünge düzlemi ile çakışık olması halinde ilave cismin kütlelerini, Liu ve Yang (2006) $0.12 M_{\odot}$, Yüce vd. (2006) ise $0.37 M_{\odot}$ olarak hesapladılar. Liu ve Yang (2006), sisteme fiziksel olarak bağlı ilave bir cismin varlığını, Hughes ve McLean (1984) tarafından sisteme $2''.6$ uzaklıkta belirlenen bir radyo kaynağın varlığına ve Hendry ve Mochnacki (1998) tarafından sistemin tayfında yer alan NaD çizgilerinde tespit edilen zayıf ilave cisim katkılarına dayandırdılar.

D'Angelo vd. (2006) ilave cisim olarak üçüncü bir bileşen barındırdığı öne sürülen çok sayıda etkileşen çift sistemin arşiv tayfları üzerinde sistematik bir çalışma gerçekleştirilerek ilave cismin varlığına ilişkin somut delilleri aradılar. Bu çalışmada V502 Oph sisteminin tayflarında üçüncü bileşene ilişkin hiçbir belirtece rastlamadıklarını rapor ettiler. Ancak, Hughes ve McLean'ın (1984) sistemden $2''.6$ uzaklıkta belirledikleri radyo kaynağın sisteme fiziksel olarak bağlı ilave bir cisim olması durumunda, bu kaynağın ışığının mevcut tayfsal verinin alındığı tayfçekerlerin yarığı dışında kalmış olacağını ve etkisinin tayflarda görülemeyeceğini de vurguladılar. Pribulla ve Rucinski (2006) ve Rucinski vd. (2007) bazı etkileşen çift yıldızların önerilen ilave cisimlerini doğrudan görüntüleme (adaptif optik) yolu ile tespit etmek üzere bir dizi çalışma gerçekleştirdiler. Her iki çalışmada da V502 Oph'de ilave cisim izine rastlamadılar. Rucinski vd.'nin (2007) çalışmasında kullanılan teknik, yakın çift sistemlerden $0''.07 - 1''.00$ aralığındaki açılal uzaklıklarda yer alan ilave bileşenleri saptamaya duyarlıdır, dolayısıyla çalışmalarının V502 Oph'ye $2''.6$ uzaklıktaki radyo kaynağın varlığını dışlamadığını burada belirtmek gerekir.

Bu çalışmanın amacı, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'ndeki (TUG) yeni gözlemlerimizden V502 Oph için elde ettiğimiz çok renk fotoelektrik ışık eğrilerini, sistemin güncel fiziksel parametrelerini yüksek duyarlılıkla belirlemek için, Pych vd. (2004) tarafından elde edilen en güncel tayfsal kütle oranını da kullanarak analiz etmek ve ayrıca, Ankara Üniversitesi Rasathanesi'nde (AÜG) elde ettiğimiz ek fotometrik gözlemlerle tespit ettiğimiz minimum zamanlarını da kullanarak sistemin yörünge dönemi değişimine ilişkin karakteristikleri güncellemektir.

2. Gözlemler

V502 Oph yıldızının fotometrik gözlemleri TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'ndeki 40 cm birincil ayna çaplı Cassegrain türü teleskopa bağlı OPTEC SSP-5 A ışıkölçeri kullanılarak 22-26 Haziran 2005 tarihleri arasında gerçekleştirildi. $BD+01^\circ 3287$ ve $BD+01^\circ 3291$ yıldızları sırasıyla mukayese ve denet yıldızları olarak kullanıldı. Gözlemler boyunca mukayese ve denet yıldızlarında bir ışık değişimi gözlenmedi. Gözlenen yıldızlara ilişkin bilgi Çizelge 1'de verildi. B, V ve R bantlarında sırasıyla 681, 678 ve 678 adet gözlem verisi elde edildi. Mukayese yıldızının gözlemlerinden yararlanılarak gecelik sönmülme katsayıları hesaplandı. Bir gözlem noktası için tahmin edilen belirsizlik B, V ve R bantları için sırasıyla $0^m.005$, $0^m.004$ ve $0^m.008$ mertebesindedir. Renk ve ışık eğrileri oluşturulurken, 1999-2005 yılları arasındaki minimum zamanları kullanılarak tarafımızdan hesaplanan aşağıdaki düzeltilmiş doğrusal ışık elemanları kullanıldı:

$$MinI(HJD) = 2453544.5024(12) + 0^g.4533906(6) \times E \dots\dots\dots (1)$$

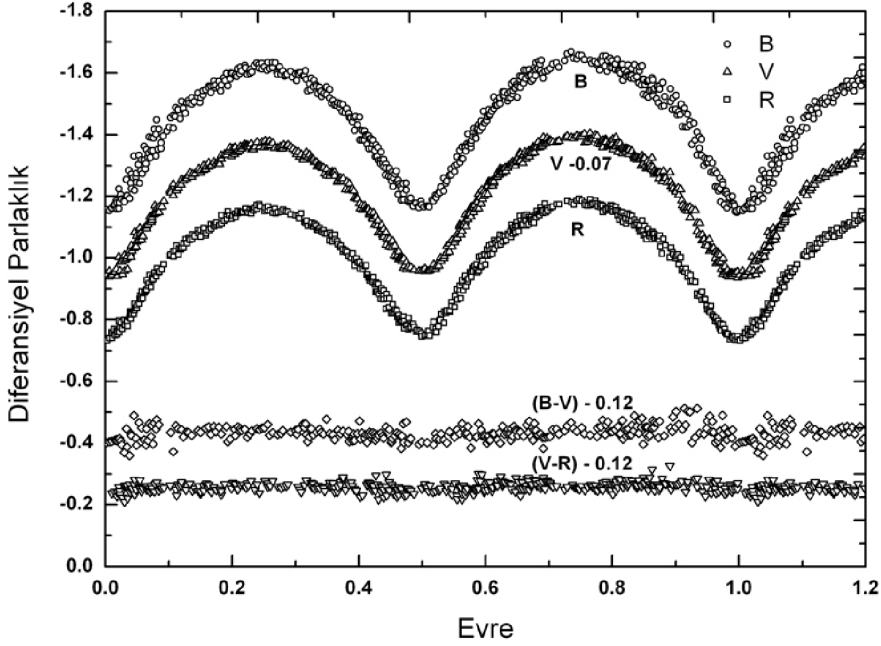
Işık seviyeleri maksimum ve minimum etrafında $\Delta\Phi = 0.02$ evre aralıklı verilerin ortalaması alınarak hesaplandı ve maksimum seviyeleri ile minimum seviyeleri arasındaki farklarla birlikte Çizelge 2'de; sistemin B, V, R bantlarındaki ışık eğrileri ve B-V, V-R renk eğrileri ise Şekil 1'de verildi. O'Connell etkisi olarak bilinen iki maksimum seviyesi arasındaki farklar, B, V ve R bantları için sırasıyla $\Delta m = \text{maks. I} - \text{maks. II} = 0^m.030$, $0^m.025$, $0^m.023$ olarak hesaplandı. Bu türden ışık eğrisi asimetrisi, geç tayf türünden bileşenler içeren etkileşen çift sistemlerde genellikle, bileşen yüzeyinde yer alan soğuk ve/veya sıcak yıldız lekelerinin oluşturduğu yüzey parlaklık dağılımındaki düzensizliklere bağlanmaktadır. V502 Oph sisteminin ışık eğrilerinde bu asimetri, kendisini maksimum II seviyesinin maksimum I seviyesinden daha yüksek olması şeklinde göstermektedir. Bu etki ışık eğrisi analizinde dikkate alınmıştır ve modelleme detaylarına bu çalışmanın 3. bölümünde yer verilecektir. Yeni minimum zamanları elde etmek amacıyla AÜG'nde yapılan gözlemlere ise bu çalışmanın 4. bölümünde değinilecektir.

Çizelge 1. V502 Oph, mukayese ve denet yıldızları için katalog bilgileri.

Parametre	V502 Oph	Mukayese	Denet
GSC	00383-00916	00383-01490	00383-00515
PPM	162977	162979	162987
α_{2000}	$16^{\text{sa}} 41^{\text{dk}} 20^{\text{sn}}.86$	$16^{\text{sa}} 41^{\text{dk}} 27^{\text{sn}}.04$	$16^{\text{sa}} 41^{\text{dk}} 58^{\text{sn}}.41$
δ_{2000}	$+00^\circ 30' 27''.37$	$+01^\circ 34' 33''.27$	$+01^\circ 00' 06''.70$
m_B	$9^m.13$	$10^m.77$	$10^m.29$
m_V	$8^m.53$	$9^m.66$	$9^m.37$
B – V	$0^m.60$	$1^m.11$	$0^m.92$

Çizelge 2. V502 Oph sisteminin maksimum ve minimumdaki ışık seviyeleri ve aralarındaki farklar.

	B	V	R
Maks. I seviyesi (0.25 evresi)	-1.620 ± 0.009	-1.301 ± 0.009	-1.159 ± 0.007
Maks. II seviyesi (0.75 evresi)	-1.650 ± 0.007	-1.326 ± 0.004	-1.182 ± 0.008
Min. I seviyesi (0.00 evresi)	-1.154 ± 0.001	-0.877 ± 0.008	-0.736 ± 0.006
Min. II seviyesi (0.50 evresi)	-1.171 ± 0.009	-0.889 ± 0.003	-0.756 ± 0.007
$\square_{\text{maks.}} = \text{maks. I} - \text{maks. II}$	0.030	0.025	0.023
$\square_{\text{min.}} = \text{min. I} - \text{min. II}$	0.017	0.012	0.019
Min. I derinliği	0.466	0.425	0.423
Min. II derinliği	0.479	0.438	0.427



Şekil 1. V502 Oph sisteminin B, V, R bantlarındaki ışık eğrileri ve B-V, V-R renk eğrileri.

3. Işık Eğrisi Analizi

Bu çalışma için elde edilen ışık eğrileri ve Pych vd. (2004) tarafından tayfsal gözlemlerle elde edilen dikine hız eğrisi Wilson ve Devinney (1971) tarafından geliştirilen

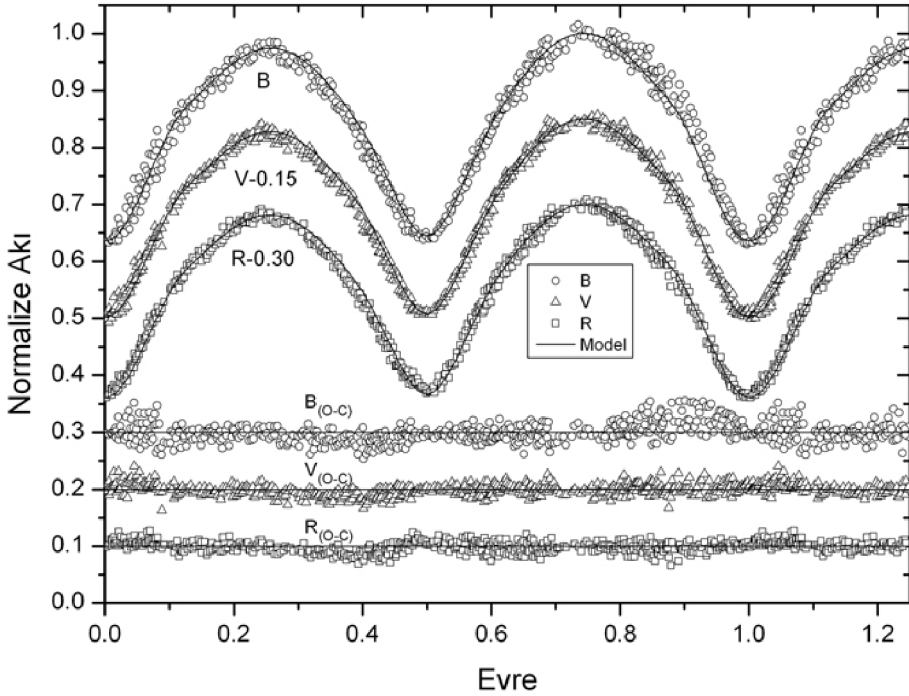
ve çift yıldızların ışık eğrisi çözümlerinde kullanılan bilgisayar programını temel alan PHOEBE (Prša ve Zwitter 2005) programıyla eş zamanlı olarak çözümlenerek V502 Oph sisteminin en güncel yörünge ve fiziksel parametreleri elde edildi. Analiz sırasında fotometrik gözlemler ve dikine hız verilerinin tamamı kullanıldı. Işık eğrileri en yüksek seviyeli maksimum (maks. II) seviyesine normalize edildi. Çekim karararma katsayıları ve bileşen yıldızların bolometrik albedoları literatürdeki teorik değerler esas alınarak sırasıyla $g_1 = g_2 = 0.32$ (Lucy 1967) ve $A_1 = A_2 = 0.5$ (Rucinski 1969) olarak belirlendi. Kütle oranı ($q = m_1/m_2 = 0.335$) ve kütle merkezinin dikine hız değeri ($V_\gamma = -42.56 \text{ kms}^{-1}$) Pych vd. (2004) tarafından belirlendiği şekilde alındı ve çözüm boyunca sabit tutuldu. Birinci bileşenin etkin sıcaklığı (T_1) Popper (1980) tarafından cüce yıldızlar için verilen kalibrasyon tablolarından sistemin tayf türüne (G0V) uygun olacak şekilde seçildi. Logaritmik kenar karararma katsayıları $x_1, y_1, x_2,$ ve $y_2,$ van Hamme'nin (1993) tablolarından ara değer bulma yöntemiyle tespit edildi. Bileşenlerin eş dönme gösterdiği ($F_1 = F_2 = 1$) ve yörünge çember olduğu ($e = 0$) varsayıldı. Yörünge eğim açısı (i), bileşenlerin yüzey potansiyelleri ($\Omega_{1,2}$), ikinci bileşenin etkin sıcaklığı (T_2), birinci bileşenin kesirsel monokromatik ışınım gücü (L_1) ve güneş yarıçapı biriminde yörünge yarı-büyük eksen uzunluğu (a) çözümde serbest bırakıldı. Programda sistemin doğasına uygun olarak aşırı değen sistemlerin çözümü için uygulanan MODE-03 ile çözüm gerçekleştirildi.

O'Connell etkisi olarak bilinen ve kendisini maksimum ışık seviyeleri arasında belirgin farklar olarak gösteren ışık eğrisi asimetrisi, bileşen yıldızların yüzey parlaklık dağılımındaki düzensizliklerle açıklanmaktadır ve ışık eğrisi çözümlerinde bileşen yıldızların yüzeyine geometrik çözümlerle uygun olarak soğuk ve/veya sıcak lekeler yerleştirilerek modellenmektedir. Biz de V502 Oph sisteminin ışık eğrisi çözümünde maksimum ışık seviyeleri arasındaki farkı açıklayabilmek için modelimizde birinci yıldızın yüzeyine bir soğuk leke yerleştirdik. Sistemin W-türü bir değen çift olması ve bileşenlerin geç tayf türünden olması nedeniyle tercihimizi soğuk lekeden yana kullandık. Soğuk lekenin analiz sonucunda elde edilen koordinatları; boylam $\lambda = 80^\circ.2$, enlem $\beta = 91^\circ.7$ 'dir. Lekenin açılal çapı $\theta = 13^\circ.2$, sıcaklık faktörü (T_p) ise 0.80 'dir.

V502 Oph sisteminin ışık eğrisi ve dikine hız eğrisi çözümlerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 3'te topluca listelenmiş (hatası verilen parametreler serbest bırakılmıştır) ve sistemin her üç renkteki gözlemsel ve kuramsal ışık eğrileri ile modelden gösterdikleri farklar (artıklar) da, teorik modelin gözlemlerle olan uyumunun irdelenebilmesi açısından Şekil 2'de verilmiştir. Çizelge 3'teki kesirsel yarıçaplar, bileşenlerin kutup doğrultusundaki görelî yarıçapları (pole), sistemin yörünge düzleminde bileşenleri birbirine birleştiren doğrultuya dik yöndeki görelî yarıçapları (side) ve birbirlerine bakmayan yüzleri doğrultusundaki yarıçapları (back) olarak listelenmiştir. Şekil 2'de modelden olan artıklarda izlenen rasgele saçılma büyük ölçüde gözlem ve ölçüm hatalarını yansıtmaktadır.

Çizelge 3. V502 Oph sisteminin ışık eğrisi analizi sonuçları (Parametrelerin açıklamaları için metne bakınız).

Parametre	Değer
$A_1 = A_2$	0.5
$g_1 = g_2$	0.32
$F_1 = F_2$	1
e (dışmerkezlilik)	0
V_γ (kms ⁻¹)	-42.56
q (m_1 / m_2)	2.985
T_1 (K)	5861
x_1 (B, V, R)	0.833, 0.753, 0.661
y_1 (B, V, R)	0.157, 0.242, 0.259
x_2 (B, V, R)	0.837, 0.760, 0.668
y_2 (B, V, R)	0.143, 0.234, 0.254
i (°)	73.03 ± 1.52
a (R_\odot)	3.091 ± 0.029
$\Omega_1 = \Omega_2$	6.489 ± 0.598
T_2 (K)	5769 ± 56
M_1 (M_\odot)	1.448 ± 0.070
M_2 (M_\odot)	0.485 ± 0.036
$L_1 / (L_1 + L_2)_B$	0.294 ± 0.020
$L_1 / (L_1 + L_2)_V$	0.287 ± 0.020
$L_1 / (L_1 + L_2)_R$	0.283 ± 0.020
$L_2 / (L_1 + L_2)_B$	0.706
$L_2 / (L_1 + L_2)_V$	0.713
$L_2 / (L_1 + L_2)_R$	0.716
r_1 (pole)	0.276 ± 0.043
r_1 (side)	0.288 ± 0.051
r_1 (back)	0.326 ± 0.087
r_2 (pole)	0.453 ± 0.040
r_2 (side)	0.486 ± 0.054
r_2 (back)	0.514 ± 0.069
f (değme oranı)	0.174
Modelden Olan Artıklar	
$\Sigma (O-C)_B^2$	0.02
$\Sigma (O-C)_V^2$	0.01
$\Sigma (O-C)_R^2$	0.01



Şekil 2. V502 Oph sistemi için B, V ve R bantlarında elde edilen kuramsal ışık eğrisi (sürekli eğri) ile gözlemsel ışık eğrilerinin karşılaştırması.

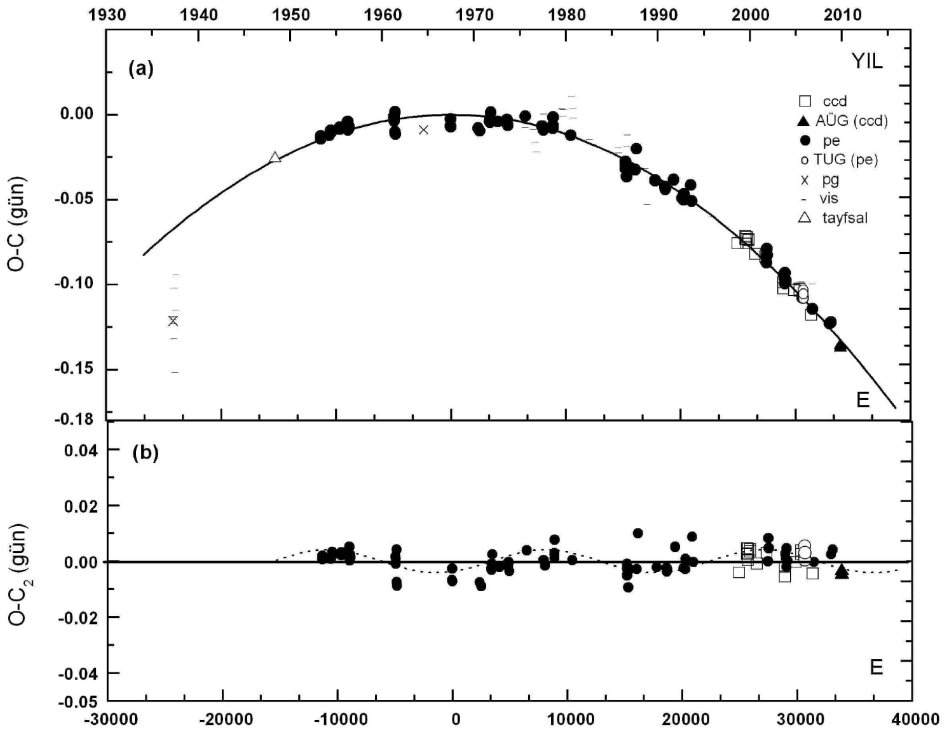
4. Yörünge Dönemi Değişimi

V502 Oph sisteminin bu çalışması için TUG'daki ışık eğrisi gözlemlerinden hesaplanan 4 minimum zamanına ek olarak Ankara Üniversitesi Rasathanesi'ndeki (AÜG) 40 cm çaplı Kreiken Teleskobu'na bağlı Apogee Alta U47 CCD kamerası ve standart Johnson-Cousins BVR filtreleri kullanılarak iki yeni minimum zamanı (bkz. Çizelge 4) gözlemlendi. Literatürden toplanan 16 ccd, 82 fotoelektrik, 39 görsel, 2 fotoğrafik ve 1 tayfsal minimum zamanlarına bu çalışmadakiler de (TUG ve AÜG'den hesaplanan minimum zamanları) eklenerek toplamda 146 minimum zamanı bir araya getirildi. Bu minimum zamanları ile Şekil 3a'daki O-C (gözlenen ve hesaplanan minimum zamanı arasındaki fark) diyagramı oluşturuldu. Burada TUG fotoelektrik ve AÜG ccd minimumları sırasıyla içi boş daire ve içi dolu üçgen ile belirtilmektedir. O-C diyagramında izlenen genel karaktere uygun olarak, ilgili veriye en küçük kareler yöntemi ile 2. dereceden bir polinom yaklaşımı uygulandı ve bu yaklaşımı en iyi temsil eden aşağıdaki ışık elemanları belirlendi:

$$MinI(HJD) = 2439639.9508(6) + 0g.45333905(8) \times E - 1.15(4) \times 10^{-10} \times E^2 \quad (2)$$

Çizelge 4. Bu çalışmada elde edilen minimum zamanları, hataları, türleri ve yöntemi.

Minimum Zamanı	Hatası	Türü	Yöntem	Gözlem Yeri
53544.5055	0.0002	1	Fotoelektrik	TUG
53545.4087	0.0001	1	Fotoelektrik	TUG
53547.4476	0.0002	2	Fotoelektrik	TUG
53548.3569	0.0001	2	Fotoelektrik	TUG
55000.3179	0.0002	1	ccd	AÜG
55002.3568	0.0001	1	ccd	AÜG



Şekil 3. (a) V502 Oph sisteminin tüm minimum zamanları ile oluşturulan O-C eğrisi ve bu veriye uygulanan 2. dereceden polinom yaklaşımı (sürekli eğri). (b) O-C analizinde dikkate alınan fotoelektrik (pe) ve ccd minimum zamanlarının polinom yaklaşımından olan farkları ve artıklardan izlenen olası çevrimsel değişim (kesikli eğri).

V502 Oph sisteminin O-C değişim karakteri belirlenirken, bir plak minimumu olan ilk fotoğrafik minimum (Nekrasova 1943), Struve ve Gratton (1948) tarafından dikine hız gözlemlerinden elde edilen tayfsal minimum ve görsel gözlemlerle elde edilen minimumlar güvenilirlik düzeylerinin düşük olması gerekçesiyle dikkate alınmadı. Böylece ccd ve fotoelektrik minimum verilerinin 2. dereceden polinom yaklaşımından gösterdikleri artıklarının kareleri toplamı $\chi^2 = \sum(O-C)^2 = 0.001$ olarak belirlendi. Şekil 3a'da verilen O-C diyagramı, sistemin yörünge döneminin düzenli olarak azaldığını açıkça ortaya koymaktadır. O-C analizi sonucunda elde edilen ve (2) eşitliği ile verilen ışık elemanlarının 2. dereceden teriminin katsayısından ($\frac{1}{2}dP/dE = -1.15 \times 10^{-10}$) hareketle, sistemin yörünge döneminin $dP/dt = 1.86 \times 10^{-7}$ gün/yıl gibi bir oranla azalmakta olduğu belirlendi.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, V502 Oph örten çift yıldız sisteminin 2005 yılında TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde B, V ve R bantlarında elde edilen ışık eğrileri, sistemin en güncel dikine hız eğrileriyle birlikte ilk kez eş zamanlı olarak, PHOEBE (Prša ve Zwitter 2005) programı yardımıyla modellendi. Sistemin bileşenlerine ilişkin analiz sonucunda hesaplanan mutlak parametreler Çizelge 5'te verilmektedir. Sistemin fotometrik analizi ile ilgili daha önceki çalışmalarda, bu türden sistemlerin mutlak parametrelerinin bulunması açısından anahtar parametre olarak kabul edilen kütle oranı serbest bırakılarak en iyi çözüm elde edilmeye çalışılmıştır. Bununla birlikte Maceroni vd. (1982), Struve ve Zebergs (1959) tarafından elde edilen tayfsal gözlemlerden hesaplanan, bileşenlerin K_1 , K_2 dikine hız genliklerini kullanarak mutlak parametreleri hesaplamışlardır. Dolayısıyla bu çalışmamızda dikine hız eğrisi ve 3 renk ışık eğrilerinin eş zamanlı çözümünden elde ettiğimiz güncel mutlak parametrelerin güvenilirlik düzeyinin, önceki çalışmalara oranla daha yüksek olduğu görüşündeyiz. Buna ek olarak literatürde sistemin fotometrik çözümüne ilişkin elde edilen modeller ile bu çalışmada elde edilen model karşılaştırıldığında, modelin, gözlemsel noktalarla çok daha uyumlu olduğu görülmektedir. Ayrıca, analizler esnasında normal noktalar yerine doğrudan gözlemsel verilerin kullanılması da V502 Oph yıldızına ilişkin elde edilen geometrik ve fiziksel parametrelerin daha gerçekçi değerlere ulaşmasını sağlamıştır.

V502 Oph'nin literatürden toplanan minimum zamanlarına ek olarak yeni elde edilen minimum zamanları ile birlikte güncel bir dönem değişimi analizi de gerçekleştirildi. Tüm minimum zamanları ile oluşturulan Şekil 3a'daki (O-C) diyagramının, yalnızca ccd ve fotoelektrik minimumlarına 2. dereceden bir polinom yaklaşımı uygulandı ve değişimin karakteri belirlendi. (2) eşitliği ile verilen bu yaklaşıma ait ışık elemanlarının kuadratik (2. dereceden) teriminin katsayısı $\frac{1}{2}dP/dE = -1.15 \times 10^{-10}$ gün/çevrim değerinden sistemin dönem azalma hızı $dP/dt = -1.86 \times 10^{-7}$ gün/yıl olarak hesaplandı. Etkileşen çift yıldız sistemlerinin (O-C) diyagramlarında 2. dereceden polinom karakterine sahip

değişimler, ilgili çift sistemin yörünge döneminin doğrusal bir hızla artmakta veya azalmakta olduğunu ifade eder ve genellikle sistemin bileşenleri arasındaki kütle aktarımına ve/veya sistemden uzaya kütle kaybına atfedilir. Bu durumda V502 Oph sisteminin yörünge dönemi düzenli olarak azalmaktadır. Sistemin bileşenleri arasında kütle aktarımı olduğu ve sistemde toplam kütle ve buna bağlı olarak toplam açısal momentumun korunduğu varsayımı altında, kütle aktarımının yönü büyük kütleli bileşenden küçük kütleliye doğru olmalıdır. Bu varsayım altında sistemin dönem azalma hızı ve mutlak boyutları kullanılarak, kütle aktarım hızı $dM/dt = 4.1 \times 10^{-7} M_{\odot}/\text{yıl}$, kütle oranı değişim hızı ise $dq/dt = 5.61 \times 10^{-7} \text{yıl}^{-1}$ olarak hesaplandı.

Çizelge 5. V502 Oph için bu çalışmada hesaplanan mutlak parametreler.

Parametre	Değer
$A (R_{\odot})$	3.091 ± 0.029
$M_1 (M_{\odot})$	1.448 ± 0.070
$M_2 (M_{\odot})$	0.485 ± 0.036
$L_1 (L_{\odot})$	0.884 ± 0.370
$L_2 (L_{\odot})$	2.218 ± 0.621
$R_1 (R_{\odot})$	0.915 ± 0.191
$R_2 (R_{\odot})$	1.495 ± 0.180
$\text{Log } g_1 \text{ (cgs)}$	4.20
$\text{Log } g_2 \text{ (cgs)}$	4.25
$M_{\text{bol},1} \text{ (kadir)}$	4.88
$M_{\text{bol},2} \text{ (kadir)}$	3.89

Şekil 3b’de, sistemin (O-C) diyagramına yapılan 2. dereceden polinom yaklaşımdan kalan artıklar görülmektedir. Bu artıklarda çevrim süresi $P_{\text{çevrim}} \cong 23.5$ yıl ve yarı-genliği $A_{\text{O-C2}} \cong 0.004$ gün olan belirli-belirsiz çevrimsel bir yapı izlenmektedir. Sistemin literatürde yer alan daha önceki dönem değişimi analizlerinde (Rovithis vd. 1988, Derman ve Demircan 1992, Liu ve Yang 2006 ve Yüce vd. 2006) bu çevrimsel yapının yarı-genlik değeri çok daha büyük çıkmış ve sisteme fiziksel olarak bağlı ilave bir bileşenin yarattığı ışık-zaman etkisi olarak yorumlanmıştır. Ancak, bu ilave cismin varlığını ortaya koymaya yönelik diğer teknikleri kullanan araştırmalar (Pribulla ve Rucinski 2006, Rucinski vd. 2007) negatif sonuç vermiştir. Bizim çalışmamızda güvenilirlik düzeyi düşük olan minimumların (O-C) analizinde dikkate alınmaması ile, bu çevrimsel yapıya ait yarı-genlik değeri, gözlemsel duyarlılık limitleri altında kalan bir seviyeye inmiştir. Dolayısıyla,

varlığı kuşku uyandıran bu çevrimsel yapı için yorumda bulunmak spekülasyondan ileri gitmeyecektir. Ancak belirleme hataları daha düşük minimum zamanları ile bu çevrimin varlığı denetlenebilir. Bu durumda, kütlesi daha önce literatürde önerilenden çok daha düşük kütleli bir 3. bileşen ya da Applegate (1992) kuramı önerisine uygun çevrimsel yapıyı manyetik alan değişimlerinden bahsetmek olasıdır. Sistemin bileşenlerinin geç tayf türünden olması ve ışık eğrisi analizlerinde, manyetik etkinliğin bir belirteci olarak sistemin büyük kütleli bileşeninde ortaya çıkan güneş benzeri soğuk lekenin varlığı, sistemin (O-C) diyagramında izlenen çevrimli yapı için Applegate (1992) kuramına göre çevrimli manyetik alan etkisini daha olası kılmaktadır.

Teşekkür

Yazarlar, V502 Oph yıldızının fotometrik gözlemlerinin gerçekleştirildiği TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'ne desteklerinden dolayı teşekkürlerini sunar. Yazarlardan Özgür Baş-türk, kendisini 2211-Yurt İçi Doktora Burs Programı kapsamında desteklemekte olan TÜBİTAK Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı (BİDEB)'na teşekkürlerini sunar.

Referanslar

- J.H. Applegate, 'A mechanism for orbital period modulation in close binaries', *ApJ*, 385 (1992), pp.621-629
- L. Binnendijk, 'Photoelectric observations of V502 Ophiuchi', *AJ*, 74 (1969), pp.218-223
- C. D'Angelo, M.H. van Kerkwijk, S.M. Rucinski, 'Contact binaries with additional components. II. A spectroscopic search for faint tertiaries', *AJ*, 132 (2006), pp.650-662
- E. Derman, O. Demircan, 'A period study of V502 Ophiuchus', *AJ*, 103 (1992), pp.1658-1661
- P.D. Hendry, S.W. Mochnecki, 'Detection of Tertiary Components in W UMa Systems', *ApJ*, 504 (1998), pp.978-982
- F. Hinderer, 'Lichtelektrische Untersuchungen an W Ursae Majoris-Sternen', *Journal des Observateurs*, 43 (1960), pp.161-210
- C. Hoffmeister, '162 neue Veranderliche', *AN*, (1935) 255, pp.401-412
- M.A. Hobart, J.H. Pena, T. Gomez, J.M. Alcalá, 'Period variation determination of the W UMa type star V502 Oph', *RevMexAA*, 17 (1989), pp.97-101
- V.A. Hughes, B.J. McLean, 'Radio observations of W Ursae Majoris stars', *ApJ*, 278 (1984), pp.716-720
- D.J. King, R.W. Hilditch, 'Contact and near-contact binary systems - II. RR Cen, EZ Hya, V502 Oph and RS Sct', *MNRAS*, 209 (1984), pp.645-653
- K.K. Kwee, 'Investigation of variations in the period of sixteen bright short-period eclipsing binary stars', *BAN*, 14 (1958), pp.131-151
- K.K. Kwee, 'Photo-electric observations of the short-period eclipsing binary V 502 Ophiuchi made in 1955 and 1956', *BAN*, 19 (1968), pp.417-417
- F. Lause, 'Beobachtungen von Bedeckungsveränderlichen', *AN*, 264 (1937), pp.105-114

- Q.-Y. Liu, Y.-L. Yang, 'On the period variation of the W UMa-type contact binary V502 Ophiuchi', *ChJAA*, 6 (2006), pp.331-337
- L.B. Lucy, 'Gravity Darkening for Stars with Convective Envelopes', *Zeitschr. Astrophys.*, 65 (1967), pp.89-92
- C. Maceroni, L. Milano, G. Russo, 'Determination of parameters of W UMa systems. III: CC Com, YY Eri, V502 Oph and TY Pup', *A&AS*, 49 (1982), pp.123-128
- S. Nekrassova, *Astr.Circ.Acad.Sci Soviet Union*, 21 (1943), p.8
- T.S. Polushina, 'Photoelectric observations of V502 Ophiuchi', *Perem. Zvezdy Prilozh.*, 2 (1975), pp.161-170
- D.M. Popper, 'Stellar Masses', *ARA&A*, 18 (1980), pp.115-164
- A. Prša, T. Zwitter, 'A Computational Guide to Physics of Eclipsing Binaries. I. Demonstrations and Perspectives', *ApJ*, 628 (2005), pp.426-438
- T. Pribulla, S.M. Rucinski, 'Contact binaries with additional components. I. The extant data', *AJ*, 131 (2006), pp.2986-3007
- W. Pych, S.M. Rucinski, H. DeBond, J.R. Thomson, C.C. Capobianco, R.M. Blake, W. Ogloza, G. Stachowski, P. Rogoziecki, P. Ligeza, K. Gazeas, 'Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. IX.', *AJ*, 127 (2004), pp.1712-1719
- P. Rovithis, P.G. Niarchos, H. Rovithis-Livaniou, 'Photoelectric Observations and Light Curve Analysis of V502 Ophiuchi', *A&AS*, 74 (1988), pp.265-271
- S.M. Rucinski, 'The Proximity Effects in Close Binary Systems II. The Bolometric Reflection Effect for Stars with Deep Convective Envelopes', *Acta Astr.*, 19 (1969), pp.245-255
- S.M. Rucinski, T. Pribulla, M.H. van Kerkwijk, 'Contact binaries with additional components. III. A search using adaptive optics', *AJ*, 134 (2007), pp.2353-2365
- O. Struve, L. Gratton, 'Spectrographic Observations of the Eclipsing Binaries RZ Comae, V502 Ophiuchi, RV Corvi, and BF Virginis', *ApJ*, 108(1948), pp.497-503
- O. Struve, V. Zebergs, 'The Spectrum of V502 Ophiuchi', *ApJ*, 130 (1959), pp.789-790
- P. Vader, N.A. van der Wal, 'Photoelectric Observations of the Eclipsing Binary V502 Ophiuchi', *IBVS*, no:842 (1973), pp.1-2
- W. van Hamme, 'New Limb-darkening Coefficients for Modeling Binary Star Light Curves', *AJ*, 106 (1993), pp.2096-2117
- R.E. Wilson, 'Photometry of V502 Ophiuchi', *AJ*, 72 (1967), pp.1028-1031
- R.E. Wilson, E.J. Devlinney, 'Realization of Accurate Close-Binary Light Curves: Application to MR Cygni', *ApJ*, 166 (1971), pp.605-619
- K. Yüce, S.O. Selam, B. Albayrak, T. Ak, 'Monitoring Secular Orbital Period Variations of Some Eclipsing Binaries at the Ankara University Observatory', *Ap&SS*, 304 (2006), pp.65-67
- S. Zola, J. Krzesinski, 'Photoelectric Light Curve of V502 Oph', *IBVS*, 3251 (1988)

