

CQ Cep Çift Yıldız Sisteminde Rüzgar Etkinlikleri

Hasan AK¹, Mehmet TANRIVER¹, Osman DEMİRCAN²

¹A.Ü.F.F. Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 06100, Tandoğan-ANKARA

²Çanakkale 18 Mart Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, 17100, ÇANAKKALE

e-mail: ak@astrol.science.ankara.edu.tr

ÖZET: WR Bileşenli CQ Cep çift sisteminin UBV ışık eğrilerinin çıkış kollarında görülen asimetrielerin, yörüngenin eksantrik olmasından değil bazı bozucu etkilerden kaynaklandığı anlaşılmıştır. Bu etkinin sonucunda maksimumlar her zaman 0.25 ve 0.75 evrelerinden sonra olmaktadır. Işık eğrilerinde maksimum seviyeleri ve minimum derinlikleri dalgaboyu ve muhtemelen zaman bağımlıdır. Gözlemsel ışık eğrisinin minimum ve bozulmamış iniş kollarına yapılan teorik ışık eğrisi fitinden, bozulmuş evrelerdeki zayıflamanın derecesi hakkında bir fikir elde edilebilir. Işık eğrilerindeki zayıflama, sistem etrafındaki rüzgar maddesinin soğurması sonucu olmalıdır. Teorik ve gözlemsel UBV ışık eğrileri arasındaki fark kullanılarak bulunan, rüzgar maddesinin evre ve dalgaboyu bağımlı optik derinliği, sistemin rüzgar etkileşmesinin bipolar yapısını ortaya koymaktadır. Bu yapı, yörünge hareketinin coriolis etkisi ile şekillenir. Analiz sonucunda beklenmedik şekilde O9 bileşeninin rüzgarı WN6 bileşeninin rüzgarından yaklaşık iki kat daha şiddetli bulunmuştur. Eğer donukluğun esas kaynağı Thomson (elektron) saçılması ve elektron yoğunluğu da 10^{10} cm^{-3} mertebesinde ise, bipolar rüzgar yapısı yörünge düzleminde yaklaşık 2-2.5 AB kadar uzanmaktadır ve bu uzaklık bileşenler arası uzaklığın en az 20 katıdır.

1. Giriş:

CQ Cep (HD 214419, Hip 111633), bilinen en kısa dönemli ($P=1^d.64$) WR bileşenli çift sistemdir. Sistem bir WN6 başyıldız ve O9 türü yoldaştan oluşmaktadır. CQ Cep, Cep OBI oymağında, yaklaşık 3.5 kpc kadar uzaklıkta, galaktik düzleme yakın ($b=-1^\circ.3$) yer almaktadır. Fotometrik, tayfsal ve polarimetrik özellikleri yakınlarda, Stickland et al. (1984), Drissen et al. (1986), Kartasheva and Svechnikov (1990), Underhill et al. (1990), Marchenko et al. (1995) ve Demircan et al. (1997) tarafından çalışılmıştır. Tayfsal gözlemlerden 1995'lere kadar iki çizgili radyal hız eğrisini elde etmek mümkün olmamıştır. Yörünge düzleminde uzanan disk maddesindeki elektron saçılması bileşen yıldızın çizgileri üzerinde bir perdeleme yapmakta ve sonuç olarak tayfta sadece WR yıldızının salma çizgileri görülmektedir. Ancak Marchenko et al. (1995), O9 bileşenine ait soğurma çizgilerini gözlemeyi başarmıştır. Onlar, sistemi WN6+O9II-Ib olarak yeniden sınıflamışlar, yörünge eğimini $i=78^\circ-65^\circ$, bileşenlerin kütlelerini $M_O=17.7-22.3 M_\odot$; $M_{WR}=15.4-19.4 M_\odot$ ve bileşenler arası uzaklığı da $a=19.7-24.7 R_\odot$ aralığında vermişlerdir. Ancak onların çalışmalarında etkin sıcaklık ve ışınım güçleri ile ilgili bir irdeleme yapılmamıştır. Moffat and Marchenko (1996), küçük yarıçapa karşın gözlenen büyük ışınım

güçlerini açıklamak için, CQ Cep sisteminin bileşen yıldızlarının etkin sıcaklığının çok büyük ($T_{\text{eff}} > 50000 \text{ }^\circ\text{K}$) olabileceğini düşünmüşlerdir. Demircan et al. (1997) sistemin Cep OBI üyesi olmasını da dikkate alarak, kendi içinde ve tayfsal bilgilerle de uyumlu bir çözüm seti elde etmişlerdir, orada sıcaklıklar $T_{WR}=43600 \text{ }^\circ\text{K}$ ve $T_O=37000 \text{ }^\circ\text{K}$ olarak verilmiştir.

CQ Cep'in ışık eğrisinde çevrimden çevrime $0^m.1$ 'e varan değişimler vardır ve minimum derinlikleri simetrik değildir. Bunun nedeni sistem etrafında biriken rüzgar maddesinin bozucu etkileri olmalıdır. Burada, gözlenen ışık eğrilerindeki bu bozulmaları oluşturan rüzgar maddesinin geometrik yapısı ve boyutları tartışılmıştır.

2. Gözlemler:

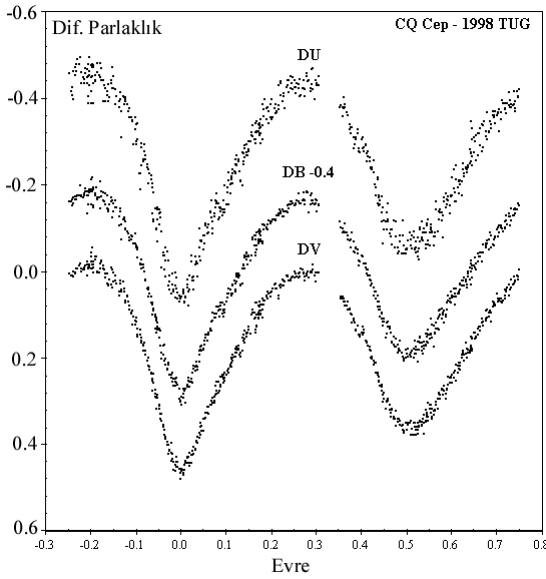
Rüzgar maddesinin davranışını incelemek için, farklı zamanlarda elde edilmiş dört takım ışık eğrisinden faydalanılmıştır. Sistemin ışık eğrisi ilk defa 1947'de W. A. Hiltner (Hiltner, 1950) tarafından U ($\lambda 3550$) ve V ($\lambda 5300$) bantlarında gözlenmiştir. Ayrıca Hiltner 1949'da HeII $\lambda 4686 \text{ \AA}$ salma çizgisinin fotometrik gözlemini de yapmıştır. Bu çizginin ışık eğrisi normal ışık eğrilerinin dönemselliği ile ters

karakterlidir, minimumlar maksimumlara, ve tersi, karşılık gelmektedir.

Sistemin ışık eğrisi Johnson UBVR bantlarında 1995-96 yıllarında Ankara Üniversitesi Gözlemevi'nde 30 cm çaplı Maksutov teleskobuna bağlı SSP-5 fotometresi ile yeniden gözlenmiş ve ışık eğrileri ve renk eğrileri elde edilmiştir. Bu ışık eğrilerini temel alan yeni çözüm parametreleri (Demircan et al. 1997) buradaki incelemede de esas alınmıştır.

Bir başka ışık eğrisi seti de 1998 yılında Johnson UBVR bantlarında TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG)'nde 40 cm çaplı Cassegrain teleskobuna bağlı SSP-5A fotometresi ile alınmıştır. Ancak R bantındaki ışık eğrisi yer yer eksik olduğundan ve diğer ışık eğrisi setleri ile karşılaştırma yapılamadığından kullanılmamıştır. Şekil 1.'de TUG'nde elde edilen ışık eğrisi görülmektedir.

Son olarak Hipparcos uydusunun 3400-9000 Å aralığındaki Hp filtresi gözlemleri de (1989-1993) (Perryman et al.) bu araştırma için kullanılmıştır.



Şekil 1. CQ Cep çift sisteminin TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde elde edilen UBVR ışık eğrisi

3. Yöntem:

Her şeyden önce, ışık eğrilerinde görülen asimetri, sistem etrafını saran küresel olarak homojen olmayan zarf maddesinin soğurmasından kaynaklandığı kabul edilmiştir. Bunun, asimetri oluşturan etkiler (eliptik yörünge, manyetik aktivite (leke), kütle transferi, vb.) dikkate alındığında doğru olduğu gösterilebilir. CQ Cep sistemi için, çift yıldız ışık eğrilerinde asimetri

oluşturan süreçler olarak, eliptik yörünge (CQ Cep'te yörünge dönemi küçüktür ve yörünge çemberdir) ve manyetik aktivite (sıcak-soğuk lekeler) (sıcak yıldızlarda bu etki görülmez) sürecinin olmayacağı açıktır. Fiziksel olarak, yıldız rüzgarları ve kütle transferi sırasında L_1 noktasından sistemden kaçan maddenin sistem etrafını sarması ile oluşan zarf maddesinin soğurma etkisinin böyle bir asimetri oluşturduğunu düşünmek mümkündür. Zarf maddesinin soğurucu etkisinin ışık eğrisi üzerinde asimetri oluşturmaması, zarfın sistem etrafında küresel olarak dağılmadığını ve soğurmanın her yerde aynı olmaması da zarf maddesinin optik derinliğinin değiştiğini gösterir.

Burada, sistemin çember yörüngelerde dolandığı kabulüyle bulunan teorik ışık eğrisi ve gözlemsel ışık eğrisi arasındaki soğurma farkları (şiddet olarak) dikkate alınarak soğurucu ortamın optik derinliği hesaplanmıştır. Teorik ışık eğrisi oluşturulurken, gözlemsel ışık eğrisinin minimum çukurları ve bozulmamış birinci minimum iniş koluna uygunluğu dikkate alınmıştır. Sistem için kabul edilen çözüm parametreleri, Demircan et al. (1997)'in verdiği parametrelerdir.

CQ Cep sisteminin ışık eğrisinde $0^m.1$ 'e varan değişimler vardır ve bu maksimum ve minimum seviyelerini değiştirir. Sistemin mevcut dört ayrı zamanda elde edilmiş ışık eğrilerinde normalizasyon yaparken, teorik fitin minimum çukurlarına uygunluğu dikkate alındığından maksimumlar farklı normalize değerlerine gelebilmektedir. Bu, ışık eğrilerindeki soğurucu etkinin göreceli olarak değişimini verir.

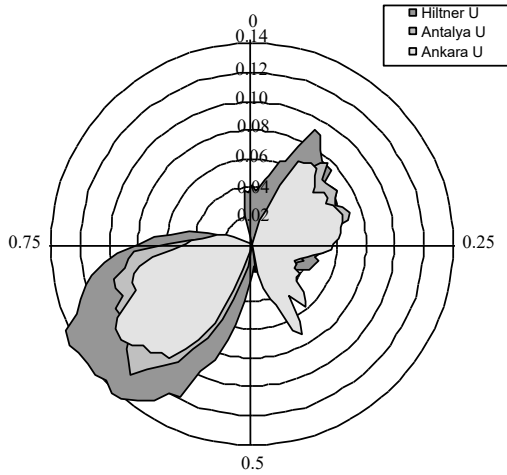
Gözlemsel ışık şiddetini (soğurulmadan sonraki akı) I , teorik şiddeti de (yıldızlardan çıkan akı) I_0 ile gösterirsek;

$$I = I_0 e^{-\tau}; \quad \text{optik derinlik}$$

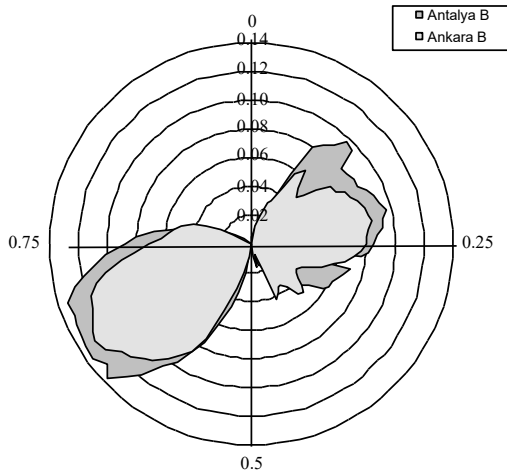
eşitliğinden soğurucu ortamın (zarf) optik derinliğini bulabiliriz:

$$\tau = \ln I_0 / I$$

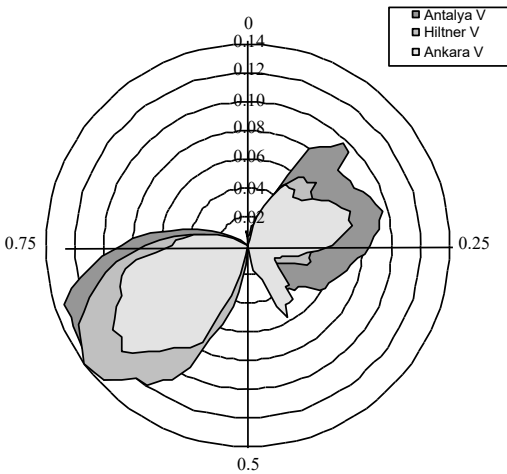
Işık eğrisi üzerinde her gözlemsel nokta ile teorik eğrinin şiddet değerleri ölçülerek evreye göre τ değerleri çıkarılmıştır. Bulunan bu τ değerleri evreye göre özel bir grafik gösterimi ile çizildiğinde, zarf maddesinin sistem etrafındaki geometrik yapısı ortaya çıkmaktadır. Şekil 2, 3, 4'te CQ Cep'in farklı ışık eğrilerinden elde edilen bu tür yapılar görülmektedir. Bu geometrik yapıların üç boyutlu düşünülmesi halinde, sistemin yörünge düzleminde yayılmış, bileşen yıldızlardan farklı başka bir ikili sistem gibi olduğu görülür ve bu yapı da örtme örtülme gösterir (bkz. Bölüm 5.). Şekilde yıldızlar 0-0.5 eksenini boyunca uzanmaktadır ve boyut olarak burada çok küçük kalırlar (bkz. Bölüm 4.).



Şekil 2. Hiltner, Ankara ve Antalya gözlemlerinin U bandı için rüzgar yapısının değişimi. 0, 0.25, 0.5 ve 0.75 evre durumunu göstermektedir, bileşen yıldızlar 0-0.5 eksenini boyunca uzanmaktadır. Her bir çember 0.02 artımla zarf maddesinin optik derinliğini belirtmektedir. En büyük τ değerine sahip olan Hiltner gözlemi, en küçük olan da Ankara gözlemidir



Şekil 3. Ankara ve Antalya gözlemlerinin B bandı için rüzgar yapısının değişimi, gösterimler Şekil 2. ile aynıdır. Antalya gözlemi, Ankara gözleminden daha büyük τ değerine sahiptir



Şekil 4. Hiltner, Ankara ve Antalya gözlemlerinin V bandı için rüzgar yapısının değişimi, gösterimler Şekil 2. ile aynıdır. En büyük

τ değerine sahip olan Antalya gözlemi, en küçük olan da Ankara gözlemidir

4. Soğurucu Ortamın Zaman Bağımlılığı ve Mutlak Boyutları

Sistemi saran zarf, aşırı değen durumdaki yıldızların L_1 noktasından kaybettiği kütle ve yıldız rüzgarları ile atılan madde tarafından beslenmektedir. Zarf, küresel bir hacim içinde dağılmaktan ziyade coriolis kuvvetlerinin etkisinde yörünge düzleminde uzanacak şekilde uzayı doldurmaktadır. CQ Cep'in ışık eğrisinde $0^m.1'e$ varan değişimlerde bu zarfın da rolü olmalıdır. Farklı zamanlarda elde edilmiş ışık eğrilerinin gözlenmiş bantlardaki soğrulma oranlarının grafiği, zarfın τ optik derinliği cinsinden evreye göre karşılaştırmalı olarak Şekil 2, 3, 4'te görülmektedir.

Zarfın kapladığı uzayın mutlak boyutlarını tahmin etmek için;

$$\tau = \int K_p dx = K_v \rho x$$

(zarf boyunca ρ sabit kabul ediliyor)

$$K_v = a_v \frac{N}{\rho}$$

Buradan, $\tau = aN x$ olur.

Ortamda baskın olan soğurmanın elektron saçılması olduğu düşünülür ve ortamın elektron yoğunluğu içinde $N_e = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ (Bhatia and Underhill 1986) değeri alınır;

$$a = 6.654 \times 10^{-25} \text{ cm}^2$$

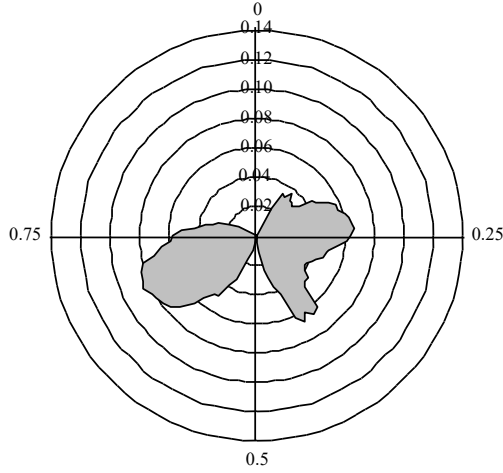
$$N_e = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$$

$$\tau = aN x > x = \tau / aN \text{ bulunur.}$$

Tablo 1'de dört farklı zamanda elde edilmiş ışık eğrilerinin mevcut bantlarında, zarfın optik derinliği ve fiziksel boyutları 0.25 ve 0.75 evresindeki (zarf gecikmeli olarak bu evre ekseninde uzanmaktadır ve maksimum değerdedir) değerleri cinsinden verilmiştir. Tabloda her bir ışık eğrisinin elde edilmiş tarihi de belirtilmiştir. Zarf genişliği AB (Astronomi Birimi) ve BAU (Bileşenler Arası Uzaklık, $a = 20.4 R_\odot$) olarak ayrı ayrı gösterilmiştir. Görüldüğü gibi zarf bir uçtan bir uca 2-3 AB büyüklüğünde bir uzaya yayılabilmekte, ancak bu boyutlar zamana göre değişkenlik göstermektedir.

Şekil 5'te Hipparcos gözleminden elde edilen zarf yapısının şekli görülmektedir. Hipparcos uydusunun fazla hassas olmayan fotometresinin bant aralığı 3400-9000 Å arasındadır. Diğer ışık eğrilerinde her bir bant tek tek incelendiğinde 0.75 evresi tarafında kalan zarfın daha geniş olduğu görülürken, geniş bir dalga boyu aralığını kaplayan Hipparcos gözlemlerinin zarf yapısında

her iki tarafın da hemen hemen aynı olduğu görülmektedir.



Şekil 5. Hipparcos gözlemleri (Hp; 3400-9000 Å) için rüzgar yapısının değişimi, gösterimler Şekil 2 ile aynıdır. İki loop arasında, diğer gözlemlerle karşılaştırıldığında belirgin bir optik derinlik farkı yoktur ve daha küçük değerlere sahiptir.

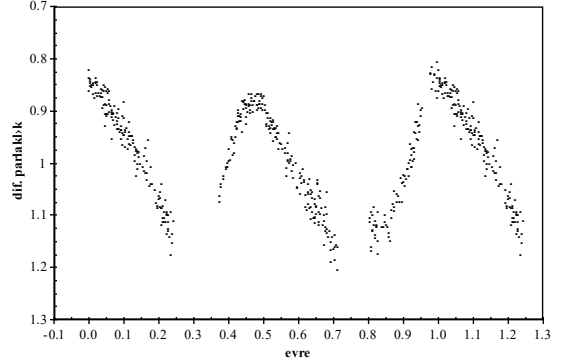
Tablo 1. Farklı zamanlarda elde edilmiş dört gözlem seti için çeşitli filtrelerde, zarf maddesinin 0.75 ve 0.25 evresindeki optik derinlik değişimi ve AB (Astronomi Birimi) ve BAU (Bileşenler Arası Uzaklık; $a=20.4 R_{\odot}$) cinsinden fiziksel boyutları.

Gözlem	Filtre	Optik Derinlik		Zarfın genişliği			
		(0.75)	(0.25)	AB		BAU	
		(0.75)	(0.25)	(0.75)	(0.25)	(0.75)	(0.25)
Ankara (1995-96)	U	0.1133	0.0718	1.14	0.72	11.99	7.60
	B	0.1271	0.0852	1.28	0.86	13.46	9.01
	V	0.1144	0.0744	1.15	0.75	12.11	7.87
Antalya (1998)	U	0.1249	0.0773	1.25	0.78	13.22	8.18
	B	0.1373	0.0981	1.38	0.99	14.53	10.38
	V	0.1258	0.0917	1.26	0.92	13.31	9.70
Hiltner (1948)	U	0.1447	0.0916	1.45	0.92	15.32	9.69
	V	0.1401	0.0651	1.41	0.65	14.83	6.89
Hipparcos (1989-93)	Hp	0.0854	0.0675	0.86	0.68	9.04	7.15

5. HeII $\lambda 4686$ Å Salma Çizgisi Gözlemleri

Şekil 6'da Hiltner (1950) tarafından yapılan HeII $\lambda 4686$ Å salma çizgisinin evreye göre grafiği görülmektedir. Normal ışık eğrisi gibi minimum ve maksimumlar gösteren bu eğrinin evreleri önceki şekillerde görülen zarf yapısına uygunluk göstermektedir. Üstelik minimum ve maksimumlar tam 0, 0.25, 0.50 ve 0.75 evrelerinde değil belli bir evre kaymasıyla gerçekleşmektedir ve bu da zarfın geometrik yapısıyla açıklanabilir.

Sonuç olarak HeII $\lambda 4686$ Å salma çizgisi esas olarak zarf maddesinden gelmektedir ve bu da zarfın yüksek derecede iyonize, sıcak ortamdan oluştuğunu gösterir.



Şekil 6. HeII (4686 Å) salma çizgisinin evre bağımlılığı. Gözlemler (Hiltner 1950'den) CQ Cep sisteminin dönem ve epochuna göre evrelendirilmiştir.

6. Tartışma ve Sonuç

Büyük kütleli yıldızlar, çok güçlü yıldız rüzgarlarına sahiptirler. Bu yolla yılda 10^{-5} - $10^{-4} M_{\odot}$ mertebelerinde kütle kayıpları sözkonusudur. Atılan madde bir şekilde zamanla yavaşlayacak ve arkadan gelen rüzgarla etkileşecektir. Tek yıldız durumunda rüzgar muhtemelen küresel olacak ve yıldızdan çok uzaklara taşınacaktır. Ancak, özellikle her iki bileşeni de bu tür yıldızlardan oluşan bir sistemde, bu yolla sistemi terkeden madde sistem etrafında küresel olarak bir zarf oluşturamaz. Herşeyden önce rüzgar küresel olmaz, ayrıca yörünge hareketinin coriolis etkisi bu rüzgar yapısını şekillendirir.

CQ Cep, WR bileşenli aşırı degen bir sistemdir ve her iki bileşenden rüzgar yoluyla ve L_1 noktasından atılan madde ile kütle kaybı sözkonusudur. Atılan madde yörünge hareketinin coriolis etkisi ile şekillenerek, bileşen yıldızların dışında bir sistem gibi davranmaktadır. Bu yapı, fiziksel boyutlar olarak 2-3 AB kadar geniş bir uzaya yayılmakta ve iyonize sıcak ortamdan oluşmaktadır. Zarfın soğurucu etkisi, sistemin ışık eğrisi üzerinde yoğun bir şekilde hissedilmekte ve bu minimum kollarında asimetriye neden olmaktadır. Sistemin ışık eğrileri çember yörünge kabulüyle çözülüp zarfın etkisinden kaynaklanan sönümlenmenin analiziyle, zarf maddesinin fiziksel boyutları ortaya çıkarılmıştır (Şekil 2-4).

Zarfın, sistemin 0.25-0.75 evre ekseninde uzanan bir yıldız yapısı olduğu ve örtme-örtülme gösterdiği, özellikle HeII salma çizgisi gözlemlerinde çok iyi görülebilmektedir. Bu salma çizgisinin fotometrik gözlemlerinden oluşturulan ışık eğrisinde, sistemin UBV ışık eğrilerinden farklı şekilde, minimumlar 0.25 ve

0.75 evresi yakınlarında, maksimumlar da 0.0 ve 0.5 evresi yakınlarında oluşmaktadır. Bu, sözkonusu çizginin yıldızlardan değil daha çok zarftan geldiğini gösterir. Minimum ve maksimum merkezlerindeki kayma ile beraber, bütün bu gözlemsel bulgular yukarıdaki şekillerde görülen zarfın geometrik yapısına çok iyi uymaktadır.

UBV bandı gözlemlerinde 0.75 evresi tarafındaki loopun daha büyük olduğu görülürken, daha geniş bir dalgaboyu aralığını kapsayan Hipparcos gözlemlerinin (3400-9000 Å) sonuçlarında her iki loopun da hemen hemen aynı olduğu ve daha az bir uzaya yayıldığı görülmektedir. Bu da uzun dalgaboylarına doğru soğurmanın etkisiz olduğunu ve zarf içinde bu dalga boylarında ekstra bir salma olduğunu da gösterir.

Sonuç olarak buradaki inceleme, büyük kütleli çift yıldızlarda oluşan rüzgar yapısı için fotometrik bir kanıttır ve CQ Cep benzeri sistemlere uygulanacak benzer çalışmaların altyapısını oluşturacaktır.

Teşekkür

Bu çalışmanın Ankara gözlemleri, TÜBİTAK TBAG-1369, (Etkileşen Çift Yıldızların Fotometrik Işık Ölçümü), nolu araştırma projesi kapsamında desteklenmiştir. TUG gözlemleri TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. TUG gözlemleri sırasında, Gözlemevi personelinin yakın ilgisinden dolayı kendilerine teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Bhatia, A. K., & Underhill, A. B. 1986, ApJS, **60**, 323
- Demircan, O., Ak, H., Özdemir, S., Tanrıver, M., & Albayrak, B. 1997, AN, 318-5, 267
- Drissen, L., Moffat, A. F. J., Bastien, P., Lamontagne, R., & Tapia, S. 1986, ApJ, **306**, 215
- Hiltner, W. A. 1950, ApJ, **112**, 477
- Kartasheva, T. A., & Svechnikov, M. A. 1990, Bull. Spec. Astr. Obs.-North Caucasus, **28**, 1
- Marchenko, S. V., Moffat, A. F. J., Eenenes, P. R. J., Hill, G. M., & Grandchamps, A. 1995, ApJ, **450**, 811
- Moffat, A. F. J., & Marchenko, S. V. 1996, A&A, **305**, L29
- Perryman, M. A. C. et al. 1997, "The Hipparcos and Tycho Catalogues" ESA Publ. Div., c/o ESTEC, Noordwijk, Netherlands
- Stickland, D. J., Bromage, G. E., Budding, E., Burton, W. M., Howarth, I. D., Jameson, R., Sherrington, M. R., & Willis, A. J. 1984, A&A, **134**, 45
- Underhill, A. B., Gilroy, K. K., & Hill, G. M. 1990, ApJ, **351**, 651