

# W UMa TÜRÜ XY LEO, EE CET VE AQ PSC'İN FOTOMETRİK ANALİZİ

Tolga ÇOLAK<sup>1</sup>, Zekeriya MÜYESSEROĞLU<sup>1</sup>, Selim O. SELAM<sup>1</sup>,  
Berahitdin ALBAYRAK<sup>1</sup>

## Özet

XY Leo, EE Cet ve AQ Psc yakın çift sistemlerinin 2004-2005 gözlem sezonunda Rozhen Gözlemevi'nde elde edilen BV ışık eğrileri analiz edilerek, sistemlerin fiziksel parametreleri elde edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre EE Cet ve XY Leo sistemleri W-alt türü değen çiftlerin karakterini yansıtırken, AQ Psc sistemi A-alt türü değen çift sistemlerin özelliklerini göstermektedir. Sistemlerin ışık eğrilerinde izlenen asimetri ler sıcak/soğuk leke yapılarıyla başarılı şekilde modellenenmiştir. Bir HIPPARCOS keşfi olan EE Cet sisteminin yörünge çözümü ilk kez bu çalışma ile elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** yıldızlar, değen çift yıldızlar, EE Cet, XY Leo, AQ Psc

## Abstract

New BV light curves of three close eclipsing binaries XY Leo, EE Cet and AQ Psc have been observed at the Rozhen Observatory in the period October 2004 – February 2005 and studied with the aim of deriving physical parameters of these systems. As a result we found that the system EE Cet and XY Leo show W-subtype characteristics, when AQ Psc shows A-subtype characteristics. Asymmetries of the light curves of these three system are explained succesfully with the presence of cool or hot spots on their surfaces. EE Cet, which discovered by HIPPARCOS is photometrically studied here for the first time.

**Keywords:** stars, contact binary stars, EE Cet, XY Leo, AQ Psc

## 1. Giriş

Bu çalışmada; şimdiye kadar kapsamlı olarak incelenmemiş olan XY Leo, EE Cet ve AQ Psc değen çift sistemlerinin Ekim 2004 – Şubat 2005 döneminde Bulgaristan'ın Rozhen Gözlemevi'nde elde edilmiş olan yeni BV ışık eğrileri analiz edilerek her üç sisteme ait fiziksel parametreler belirlendi.

### 1.1. XY Leo

Hoffmeister [1] tarafından keşfedilmiş olan XY Leo örten çift sistemine dair çok sayıda fotometrik çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda sistemin ışık eğrisindeki asimetri ortaya konulmuş ve bunlar bileşenler üzerindeki asimetrik soğuk leke dağılımları ile açıklanmıştır [2], [3], [4].

Sistemin  $P \approx 0^{\text{g}}.28$  olan dönemi zamanla değişim göstermektedir ve O – C değişimine dair pek çok çalışma yapılmıştır [5], [3], [4], [6], [7]. Bu çalışmalardan sonucunda, sistemin yörünge döneminin, üçüncü cisim etkisi ile 19.6 yıllık dönem ve 0.023 günlük yarı

<sup>1</sup> Ankara Üniversitesi Gözlemevi, 06837 Ahlatlıbel-Ankara (312) 212 67 20/1297 tcolak@science.ankara.edu.tr

genliğe sahip bir sinüsel değişim gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca bu sinüsel değişimin üzerine binen bir parabolik değişim daha olduğu belirlenmiş ve bu değişimin, küçük kütleli bileşenden büyük kütleli bileşene doğru bir kütle aktarımı ile veya sistemde uzun yörünge dönemine sahip ilave bir cismin daha varlığı ile açıklanabileceği belirtilmiştir.

Barden [8] tarafından sisteme ilişkin yapılan tayfsal çalışma da üçüncü cismin varlığını onaylamaktadır. W-türü bir degen sistem olan XY Leo için radyal hız genliklerinden ( $K_{1(c)} = 124.1$  ve  $K_{2(h)} = 204.7$  km/s) bulunan kütle oranı  $q = m_c/m_h = 1.64$  tür. Barden, ayrıca, üçüncü cismin de bir çift olduğunu ortaya çıkararak, üçüncü ve dördüncü bileşenlerin dikine hızlarını elde etti. Barden'in çalışmasına göre, XY Leo'nun bileşeni  $0^{\text{g}}.805$  dönemli bir BY Dra benzeri çift sistemdir ve geç K ve orta M cüce yıldız bileşenlerden oluşmaktadır. XY Leo ile birlikte bu çift bir dördütlü sistem oluşturmaktadır. Barden ayrıca XY Leo'nun gözlenen kromosferik salmasının önemli bir kısmının BY Dra bileşenden geldiğini de gösterdi.

Yakut vd. [7], Ege Üniversitesi Gözlemevi'nde elde edilen BV ışık eğrilerini Wilson & Devinney [9] yöntemiyle analiz ederek sistemin yörünge eğimini  $67^{\circ}.6$ , soğuk bileşenin sıcaklığını  $T_c = 4524$  K ve bileşenlerin değme oranını  $f_{\text{over}} = \% 6.7$  olarak hesapladılar. Üçüncü cismin ışık katkısını ise B bandında  $\% 2$ , V bandında  $\% 6$  olarak belirlediler. Ayrıca, fotometrik çözümlerini Barden'in [8] radyal hız verileri ile birleştirerek bileşenlere ait mutlak parametreleri hesapladılar.

### 1.2. EE Cet

ADS 2163 görsel çiftinin toplam ışığında bir değişim olduğu ilk kez HIPPARCOS uydusu tarafından [10] keşfedildi. HIPPARCOS'un fotometrik gözlemleri, çiftin ışık eğrisinde  $0^{\text{m}}.23$  genlikli ve  $0^{\text{g}}.38$  dönemli bir değişim olduğunu göstermiştir. Rucinski vd. [11], değişimin kaynağının görsel çiftin güneyindeki sönük bileşen (ADS 2163B) olduğunu belirlediler ve bu bileşeni W UMa türü bir örten çift sistem (EE Cet) olarak sınıflandırdılar. Ayrıca radyal hız çalışmalarında EE Cet'i,  $5^{\circ}.6$  açısal uzaklıktaki bileşen ADS 2163A'nın ışık etkisinden kurtararak incelediler ve bileşenlerin kütle oranını  $q = m_h/m_c = 0.315$  olarak buldular. Rucinski vd [11] aynı çalışmada sistemi F8V tayf türünden W-türü bir W UMa olarak sınıflandırdılar.

### 1.3. AQ Psc

AQ Psc örten çift sistemi, Sarma ve Radhakrishnan [12] tarafından keşfedildi ve  $0^{\text{g}}.47564$  dönemli W UMa türü bir sistem olarak tanımlandı. Sarma ve Radhakrishnan [12], ışık eğrisinin maksimumdaki  $B-V = +0^{\text{m}}.5$  ve  $U-B = 0^{\text{m}}.0$  renk indislerinden sistemin tayf türünü F8V olarak sınıflandırdılar. Lu ve Rucinski [13], radyal hız gözlemi yaparak, A türü bir W UMa olan sistemin kütle oranını,  $q = m_c/m_h = 0.226$  olarak belirlediler. AQ Psc'nin ilk kapsamlı fotometrik çalışması ise Yamasaki [14] tarafından gerçekleştirildi. Yamasaki [14], CCD gözlemi ile elde edilen BV ışık eğrilerini, Roche modelini temel alan kendi programı ile analiz etti ve sisteme ait temel parametreleri belirledi.

## 2. Gözlemler ve Işık Eğrileri

XY Leo, EE Cet ve AQ Psc çift sistemlerinin fotometrik gözlemleri Bulgaristan'ın Rozhen Ulusal Astronomi Gözlemevi'nde Ekim 2004 – Şubat 2005 döneminde 0.6 metrelik Cassegrain teleskobu ile gerçekleştirilmiş olup, her üç sistem için B ve V ışık eğrileri ile  $\Delta(B-V)$  renk eğrileri elde edilmiştir. Gözlemlerde kullanılan mukayese ve denet yıldızlarına ait ayrıntılı bilgi Çizelge 1'de verilmiştir.

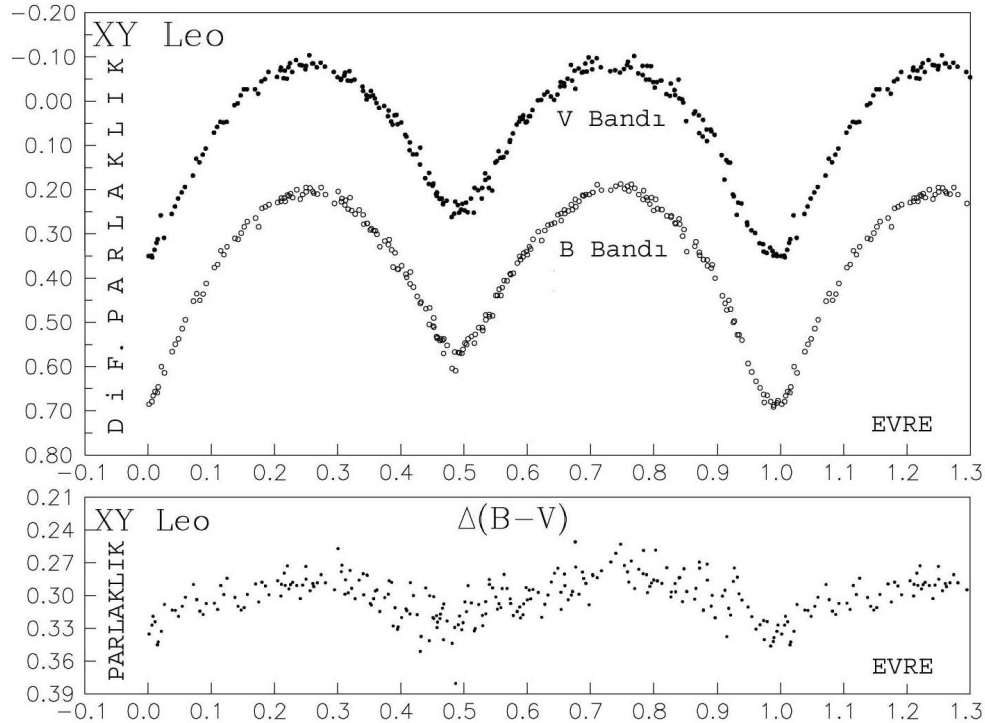
Şekil 1, 2 ve 3'de sırasıyla XY Leo, EE Cet ve AQ Psc'in ışık ve renk eğrileri görülmektedir. Çizelge 2'de ise ışık eğrilerinin maksimum ve minimumları civarındaki ortalama ışık seviyeleri ve bunların farkları verilmiştir.

**Çizelge 1.** XY Leo, EE Cet ve AQ Psc çift yıldızlarının gözlemlerinde kullanılan mukayese ve denet yıldızları

Yıldız	BD	$\alpha_{2000}$	$\delta_{2000}$	V	B-V
XY Leo	+18°2307	10 <sup>s</sup> 01 <sup>d</sup> 41 <sup>s</sup> .0	+17°24'32".0	9 <sup>m</sup> .67	1 <sup>m</sup> .03
Mukayese	+18°2306	10 <sup>s</sup> 01 <sup>d</sup> 24 <sup>s</sup> .0	+17°36'19".0	9 <sup>m</sup> .68	0 <sup>m</sup> .60
Denet	+18°2305	10 <sup>s</sup> 00 <sup>d</sup> 50 <sup>s</sup> .0	+17°23'56".0	10 <sup>m</sup> .27	0 <sup>m</sup> .75
EE Cet	+08°433B	02 <sup>s</sup> 49 <sup>d</sup> 52 <sup>s</sup> .26	+08°56'17".9	9 <sup>m</sup> .62	0 <sup>m</sup> .48
Mukayese	+08°430	02 <sup>s</sup> 48 <sup>d</sup> 33 <sup>s</sup> .99	+08°55'11".0	8 <sup>m</sup> .74	0 <sup>m</sup> .47
Denet	+07°431	02 <sup>s</sup> 48 <sup>d</sup> 31 <sup>s</sup> .18	+08°33'36".6	9 <sup>m</sup> .40	0 <sup>m</sup> .54
AQ Psc	+06°203	01 <sup>s</sup> 23 <sup>d</sup> 03 <sup>s</sup> .56	+07°36'21".6	8 <sup>m</sup> .60	0 <sup>m</sup> .50
Mukayese	+06°197	01 <sup>s</sup> 19 <sup>d</sup> 32 <sup>s</sup> .93	+07°29'26".7	8 <sup>m</sup> .42	0 <sup>m</sup> .91
Denet	+06°200	01 <sup>s</sup> 19 <sup>d</sup> 55 <sup>s</sup> .47	+07°21'54".6	9 <sup>m</sup> .41	0 <sup>m</sup> .68

## 2.1. XY Leo

XY Leo'nun ışık eğrisinin biçimi sistemin aşırı değen bir yapıda olduğunu işaret etmekte olup, ışık eğrisi genliğinin görece olarak küçük olmasının nedeni, küçük yörünge eğimi nedeniyle tutulmaların parçalı olmasıdır.

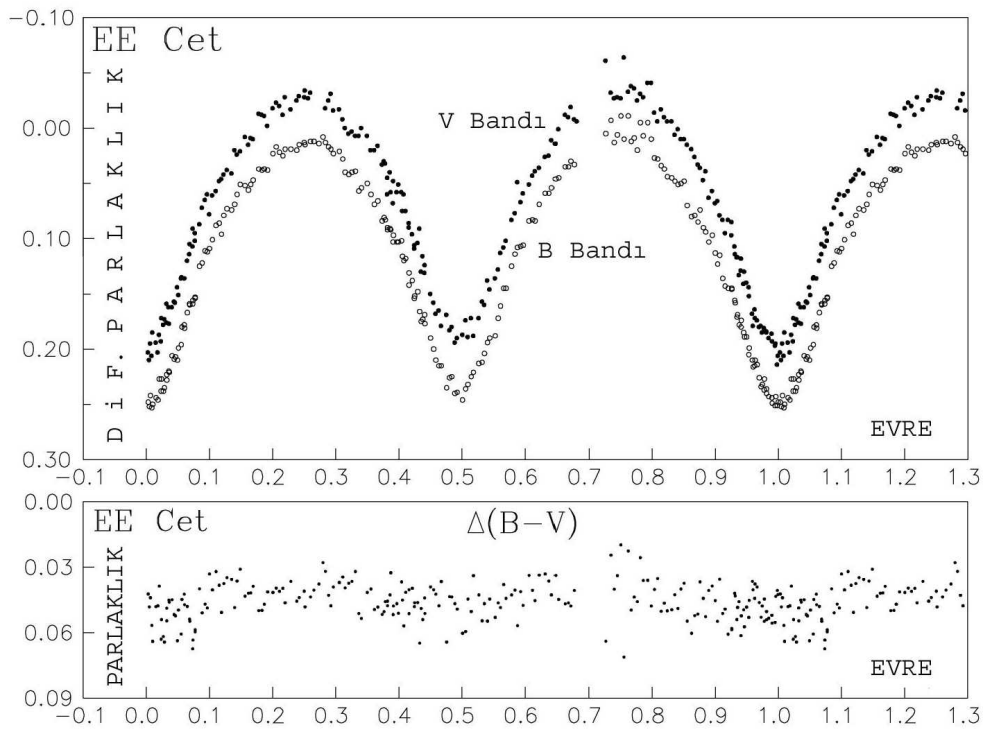


**Şekil 1.** XY Leo'nun diferansiyel BV ışık eğrileri ve  $\Delta(B-V)$  renk eğrisi

## 2.2. EE Cet

EE Cet'in ışık eğrisinde ikinci maksimumun birinci maksimumdan daha yüksek olması, asimetrik bir yapı meydana getirmektedir. Ayrıca birinci ve ikinci minimumların seviyeleri arasındaki fark, B ve V bantlarında önemli derecede değişiklik göstermektedir. Şekil 2'den görüleceği gibi, maksimum ve minimum civarında  $\Delta(B-V)$  renk eğrisinde küçük değişimler mevcuttur.

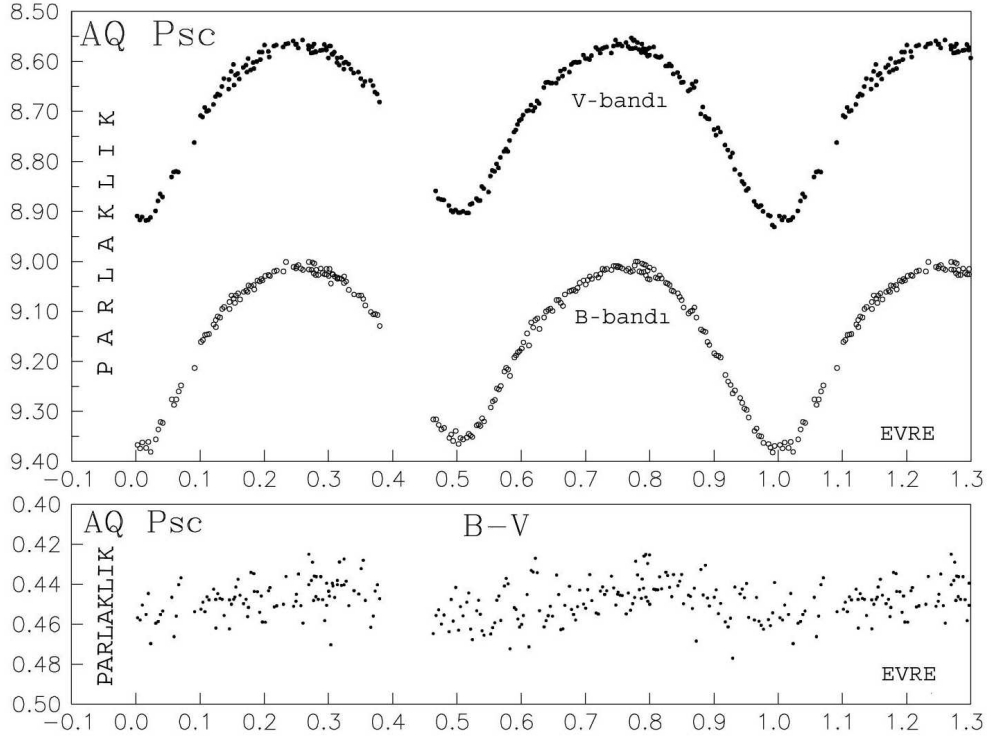
Işık eğrisinin biçimi EE Cet'in aşırı degen bir sistem olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte sistemin  $5''.6$  kuzeyindeki parlak görsel bileşenin varlığı fotometrik gözlemleri ve bunların yorumlanmasını oldukça karmaşık hale getirmektedir. Görsel bileşenin çok yakın olması nedeniyle diyafram dışına çıkarılamaması sonucu gözlemler bu bileşenin ışığı tarafından etkilenmiştir. Işık eğrisinin genliğinin görece olarak küçük olmasının nedeni, bu cismin ışığının sistemin toplam parlaklığına yaptığı katkıdır.



Şekil 2. EE Cet'in diferansiyel BV ışık eğrileri ve  $\Delta(B-V)$  renk eğrisi

## 2.3. AQ Psc

AQ Psc'in ışık eğrisinde de hafif bir asimetri olduğu görülmektedir. Birinci maksimum ikinci maksimumdan daha yüksek olup, minimum seviyeleri arasındaki farkların B ve V renklerinde aynı olmadığı görülmektedir. Ayrıca yörünge dönemi boyunca  $\Delta(B-V)$  renk eğrisinde de zayıf bir değişim izlenmektedir. Sistemin yörünge eğiminin küçük olması nedeniyle ışık eğrisinin genliği görece olarak küçük olup, biçimi ise sistemin aşırı degen yapısını ortaya koymaktadır.

Şekil 3. AQ Psc'in BV ışık eğrileri ve  $\Delta(B-V)$  renk eğrisi

Çizelge 2. XY Leo, EE Cet ve AQ Psc'in B ve V ışık eğrilerinin ışık seviyeleri ve farkları

Parametre	XY Leo		EE Cet		AQ Psc	
	$\Delta B$	$\Delta V$	$\Delta B$	$\Delta V$	$\Delta B$	$\Delta V$
0.25 evresindeki maksimum ışık	$0.206 \pm 0.005$	$-0.080 \pm 0.004$	$0.013 \pm 0.005$	$-0.028 \pm 0.012$	$9.010 \pm 0.005$	$8.565 \pm 0.005$
0.75 evresindeki maksimum ışık	$0.194 \pm 0.005$	$-0.084 \pm 0.004$	$0.002 \pm 0.010$	$-0.039 \pm 0.013$	$9.012 \pm 0.005$	$8.567 \pm 0.005$
0.00 evresindeki minimum ışık	$0.684 \pm 0.005$	$0.346 \pm 0.006$	$0.249 \pm 0.003$	$0.201 \pm 0.005$	$9.373 \pm 0.005$	$8.920 \pm 0.005$
0.50 evresindeki minimum ışık	$0.580 \pm 0.005$	$0.245 \pm 0.005$	$0.238 \pm 0.006$	$0.186 \pm 0.008$	$9.354 \pm 0.005$	$8.902 \pm 0.005$
$\Delta_{\max}$ ( $m_{0.25} - m_{0.75}$ )	0.012	0.004	0.011	0.011	-0.002	-0.002
$\Delta_{\min}$ ( $m_{0.00} - m_{0.50}$ )	0.104	0.101	0.011	0.015	0.019	0.018
$\Delta_{\max}$ ( $m_{0.25} - m_{0.00}$ )	-0.478	-0.426	-0.236	-0.229	-0.363	-0.355
$\Delta_{\max}$ ( $m_{0.25} - m_{0.50}$ )	-0.374	-0.325	-0.225	-0.214	-0.344	-0.337

#### 2.4. Yeni Minimum Zamanları ve Işık Elemanları

Gözlemler, her üç sistem için toplam 9 adet minimumu kapsamakta olup, Kwee – van Woerden [15] metodu ile hesaplanan minimum zamanları Çizelge 3'te verilmiştir. Literatürden alınan minimumlar, bu çalışmada elde edilen minimumlar ile değerlendirilerek her bir sistem için yeni ışık elemanları hesaplanmıştır:

$$\text{XY Leo: HJD MinI} = 2451884.4443(10) + 0^{\text{g}}.2840975(3).E \quad (1)$$

$$\text{EE Cet : HJD MinI} = 2451818.7998(17) + 0^{\text{g}}.3799215(5).E \quad (2)$$

$$\text{AQ Psc : HJD MinI} = 2449283.3254(11) + 0^{\text{g}}.4756119(2).E \quad (3)$$

Çizelge 3. Gözlenen yeni minimum zamanları

Yıldız	HJD Min	Hata	Tip	Filtre
XY Leo	2453408.3413	0.0005	I	BV
	2453408.4822	0.0004	II	BV
	2453408.6248	0.0040	I	BV
	2453409.3351	0.0007	II	BV
EE Cet	2453286.4361	0.0003	I	BV
	2453287.3850	0.0003	II	BV
	2453287.5770	0.0004	I	BV
AQ Psc	2453327.4538	0.0005	I	BV
	2453347.1932	0.0006	II	BV

### 3. Işık Eğrisi Analizinin Sonuçları

Her üç sistemin B ve V ışık eğrilerinin analizi için Djurasevic [16] tarafından geliştirilen ve aşırı degen sistemler için Djurasevic vd. [17] tarafından düzenlenen bilgisayar programı kullanıldı. Kullanılan yazılım, Roche modelini ve Wilson ve Deviney [9] tarafından ortaya konan prensipleri temel almaktadır. Işık eğrisi analizleri, Djurasevic'in [18], geliştirilmiş Marquardt [19] algoritmasını temel alan ters-problem yöntemi uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

Çekim kararması için Lucy'nin [20] konvektif zarfa sahip yıldızlar için verdiği teorik  $\beta_{h,c} = 0.08$  değeri kullanılmıştır. Yansıtma katsayıları için kullanılan değer ise  $A_{h,c} = 0.5$  dir. Kenar kararması için yeni bir lineer olmayan yaklaşım kullanılmıştır. Detaylı bilgi Claret' de [21] bulunabilir.

#### 3.1. XY Leo

XY Leo'nun analizinde, kütle oranı için Yakut vd.'nin [7] vermiş olduğu tayfsal değer  $q = m_c/m_h = 1.64$  sabit tutuldu ve küçük kütleli sıcak bileşen için yine Yakut vd. [7] tarafından verilen  $T_h = 4850$  K değeri kabul edildi. Analizlerde sistemdeki üçüncü cismin etkisi de ( $L_3$ ) dikkate alındı. Yakut vd.'ne [7] uygun olarak  $L_3$ 'ün başlangıç değeri B ve V bantlarında sırasıyla 0.019 ve 0.059 olarak alınarak daha sonra serbest bırakıldı.

XY Leo'nun ışık eğrisi zayıf bir asimetri göstermektedir. Bu da sistem üyelerinden birinde etkinlik olduğunu göstermektedir. Işık eğrisindeki asimetrinin nedenini tam olarak açıklayabilmek için çeşitli teoremleri sınadık. İlk kabulümüz bileşenlerin üzerinde leke olmayan Roche modeliydi. Ulaştığımız çözüm bize XY Leo'nun küçük değme oranına sahip, W türü bir sistem olduğunu gösterdi. Elde ettiğimiz yörünge eğimi ( $i = 68^\circ$ ), ışık eğrisinin görelî olarak küçük genliği ile uyumlu oldu.

İkinci bileşen (küçük kütleli ve daha sıcak olan), birinci (derin) minimumda örtülmektedir ve bileşenlerin sıcaklık farkı  $\Delta T = T_h - T_c = 330 \text{ K}$ 'dir. Aktif bölge kabulü olmadığı için elde edilen kuramsal ışık eğrisi gözlemleri tam olarak temsil edememektedir. Gözlemler ile kuramsal eğri arasındaki farklar (özellikle 0.0 – 0.3 evre aralığında) bileşenlerde kesin bir etkinlik olduğuna işaret etmektedir.

Bir sonraki adım yansıtma katsayılarını serbest parametre olarak bırakmaktır. Bu işlem, gözlemlerin daha iyi temsil edilmesini sağladı ve sıcak (ikinci) bileşenin yansıtma gücünün konvektif zarfa sahip yıldızlar için kabul ettiğimiz değerden daha küçük olduğunu gösterdi. Bu, ikinci bileşen üzerinde, birinci bileşene dönük olan tarafta bir soğuk leke bölgesi olduğuna işaret etmektedir.

Son olarak yansıtma katsayılarını  $A_{h,c} = 0.5$  değerinde sabit tutarak çözümü soğuk leke hipotezi ile gerçekleştirdik ve gözlenen ışık eğrisini çok iyi bir biçimde temsil etmeyi başardık. Aktif bölge dairesel bir leke bölgesi olarak varsayıldığında, aşağıdaki parametrelerle karakterize edilmektedir:

- i) sıcaklık faktörü  $A_s = T_s / T_h$  (leke bölgesinin sıcaklığı ile fotosferin sıcaklığının oranı),
- ii) lekenin açısal büyüklüğü (çapı)  $\theta_s$ ,
- iii) leke merkezinin enlemi ( $\varphi_s$ ) ve boylamı ( $\lambda_s$ ).

Çizelge 4. XY Leo'nun eş zamanlı BV ışık eğrisi çözüm sonuçları

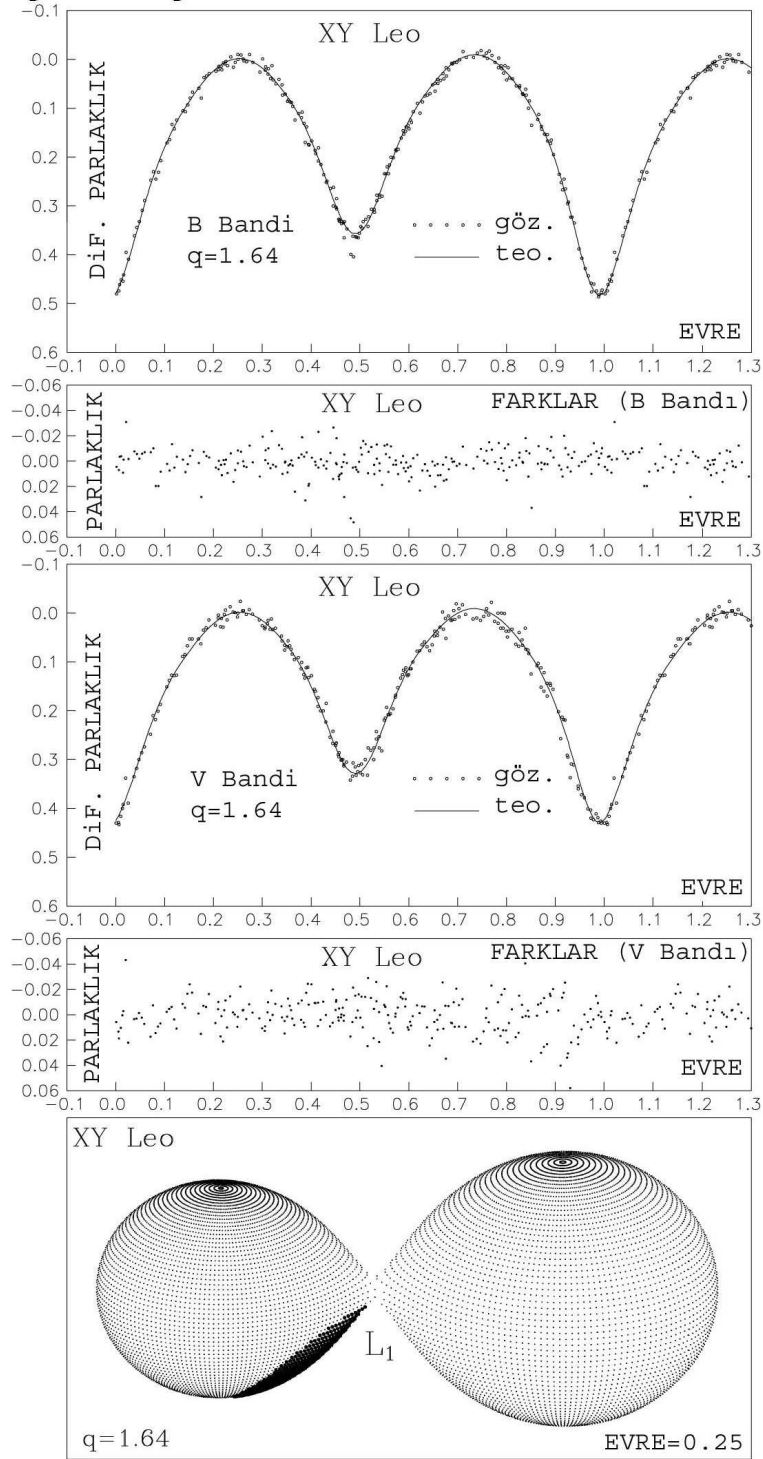
Parametre	Değeri	Parametre	Değeri
$\sigma$	0.0128	$a_{1(h,c)}(B)$	+0.6477, +0.6627
$q = m_c/m_h$	1.64	$a_{1(h,c)}(V)$	+0.6675, +0.7008
$T_h$	4850	$a_{2(h,c)}(B)$	-0.9594, -1.0150
$A_h = A_c$	0.5	$a_{2(h,c)}(V)$	-0.8056, -0.9385
$\beta_h = \beta_c$	0.08	$a_{3(h,c)}(B)$	+1.9010, +1.8106
$f_h = f_c$	1.0	$a_{3(h,c)}(V)$	+1.6981, +1.7642
$A_s = T_s / T_h$	$0.77 \pm 0.05$	$a_{4(h,c)}(B)$	-0.6596, -0.5189
$\theta_s$	$40.1 \pm 0.9$	$a_{4(h,c)}(V)$	-0.6904, -0.6397
$\lambda_s$	$9.9 \pm 1.2$	$\Omega_{h,c}$	4.7191
$\varphi_s$	$-45.3 \pm 1.5$	$\Omega_{in}, \Omega_{out}$	4.7333, 4.1493
$T_c$	$4524 \pm 10$	$f_{over}$	% 2.44
$F_h$	$1.004 \pm 0.001$	$M_{h,c} (M_{\odot})$	<b>0.50</b> $\pm$ 0.04, <b>0.82</b> $\pm$ 0.09
$i$	$68^{\circ}.2 \pm 0^{\circ}.1$	$R_{h,c} (R_{\odot})$	<b>0.68</b> $\pm$ 0.01, <b>0.85</b> $\pm$ 0.02
$L_3(B)$	$0.021 \pm 0.004$	$\log(g_h, g_c)$	<b>4.48</b> $\pm$ 0.12, <b>4.49</b> $\pm$ 0.16
$L_3(V)$	$0.061 \pm 0.005$	$M_{bol(h,c)}$	<b>6.40</b> $\pm$ 0.12, <b>6.20</b> $\pm$ 0.12
$R_{h,c} [D=1]$	0.317, 0.399	$a (R_{\odot})$	<b>1.99</b> $\pm$ 0.03
$L_h/(L_h+L_c+L_3)$	0.464(B), 0.436(V)		

NOT: Çizelgedeki sembollerin temsil ettiği parametreler şöyledir:  $\sigma$ : gözlemlerin standart sapması,  $q$ : kütle oranı,  $T_{h,c}$ : sıcak ve soğuk bileşenlerin sıcaklıkları,  $\beta_{h,c}$ ,  $A_{h,c}$ ,  $f_{h,c}$ : bileşenlerin sırasıyla çekim kararma üsleri, yansıtma güçleri ve eşzamanlı dönme katsayıları,  $A_s$ ,  $\theta_s$ ,  $\lambda_s$ ,  $\varphi_s$ : leke parametreleri,  $F_h$ : birinci bileşenin Roche lobunu doldurma parametresi,  $i$ : yörünge eğimi,  $a_{1,2}$ : kenar kararma katsayıları,  $\Omega_{h,c}$ ,  $\Omega_{in}$ ,  $\Omega_{out}$ : bileşenlerin yüzey potansiyelleri ve iç-dış yüzey potansiyelleri,  $f_{over}$ : değme derecesi,  $R_{h,c}$ : bileşenlerin kutup yarıçapları (merkezler arası uzaklık biriminde),  $L_{h,c,3}$ : sıcak, soğuk ve üçüncü bileşenin ışınım güçleri,  $M_{h,c}$ ,  $R_{h,c}$ : Bileşenlerin Güneş birimleri cinsinden kütle ve yarıçapları,  $\log(g_h, g_c)$ : bileşenlerin yüzey çekim ivmeleri,  $M_{bol(h,c)}$ : bileşenlerin mutlak bolometrik parlaklıkları,  $a$ : Güneş yarıçapı cinsinden yörünge yarı büyük eksen uzunluğu.

XY Leo'nun ışık eğrisi analizinin sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir. Verilen mutlak parametreler, fotometrik çözümlerin, Barden'in [8] dikine hız gözlemleri ile birleştirilmesi ile elde edilmiştir.

Yaklaşık  $10^\circ$  boylamında bulunan ve fotosfere oranla % 23 daha soğuk olan leke bölgesi, ışık eğrisindeki (özellikle 0.0 – 0.3 evre aralığında) asimetrinin nedenidir.  $\Delta(B-V)$  renk eğrisinin evreye bağlılığı temel olarak tutulmalara bağlı olmakla birlikte biçimi kısmen de olsa bu leke bölgesinin varlığından etkilenmektedir.

Şekil 4'te, gözlenen ve teorik ışık eğrileri ve bunların farklarıyla birlikte sistemin 0.25 evresindeki Roche geometrisi görülmektedir.



Şekil 4. XY Leo'nun gözlenen ve teorik ışık eğrileri, bunların artıkları ve sistemin 0.25 evresindeki Roche geometrisi



### 3.2 EE Cet

EE Cet'in ışık eğrisi çözümlerinde bileşenlerin kütle oranı için Rucinski vd.'nin [11] dikine hız çalışmalarından elde ettikleri  $q = m_h/m_c = 0.315$  değeri sabit alındı. Büyük kütleli bileşenin F8V tayf türü dikkate alınarak sıcaklığı için Popper'in [22] kalibrasyonuna göre  $T_c = 6095$  K değeri kullanıldı. Çekim karması ve yansıtma güçleri için XY Leo ile benzer şekilde  $\beta_{h,c} = 0.08$  ve  $A_{h,c} = 0.5$  değerleri alındı.

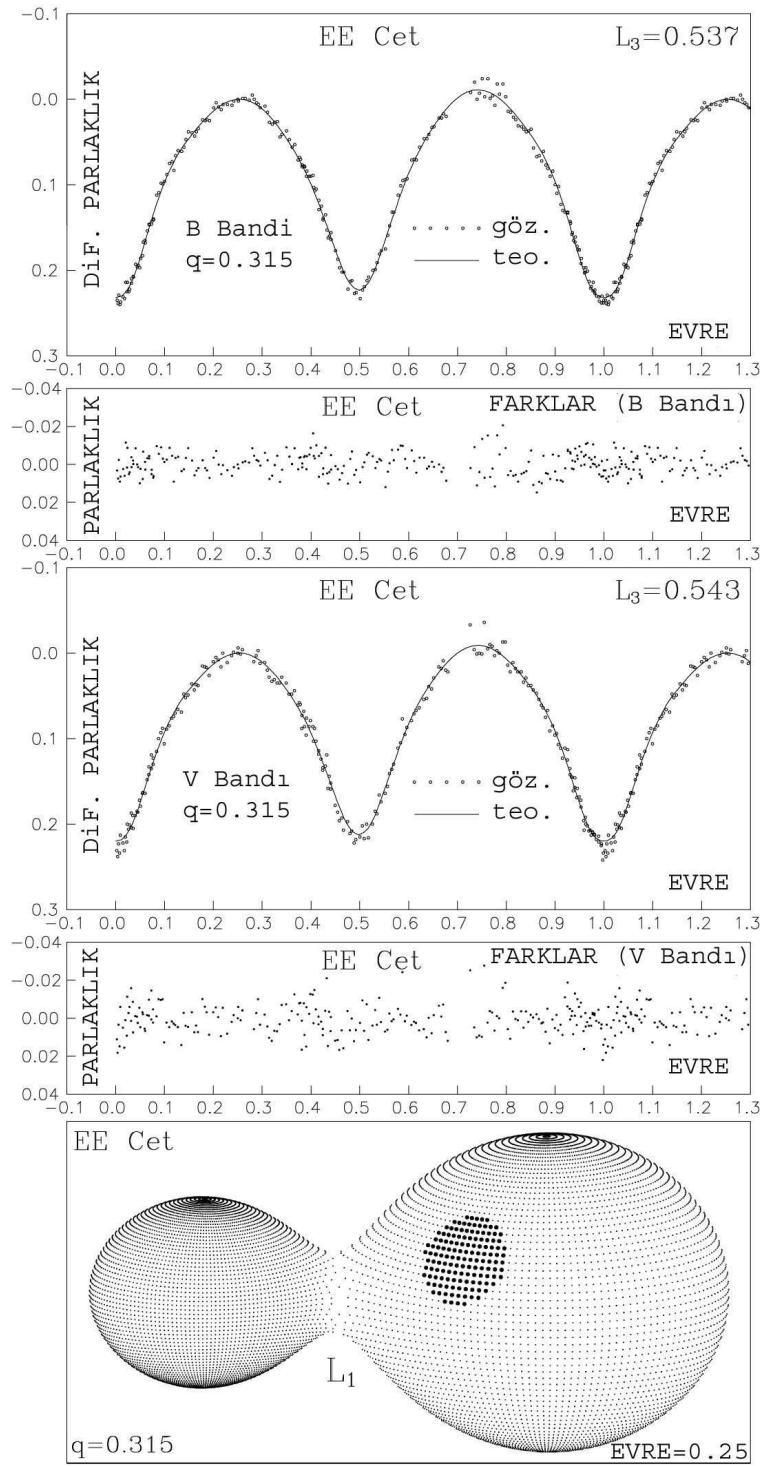
Üçüncü cismin ışık katkısı sistemin ışık eğrisinde minimum derinliklerini tamamen etkilemektedir. Bu durum, yörünge eğimi ve değme derecesi parametrelerinin doğru biçimde tayinini oldukça zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, sistemin fiziksel parametrelerinin doğru biçimde hesaplanabilmesi için analizlerde  $L_3$  parametresinin çok duyarlı bir biçimde kullanılması gerekmektedir. Üçüncü ışığın katkısı yalnızca ışık eğrisi çözümü ile belirlenememekte, bağımsız bir yoldan bulunması gerekmektedir. ADS2163'ün görsel bileşeninin değişik kaynaklardan [23], [24], [10], [25] alınan parlaklık değerleri kullanılarak üçüncü ışık katkısı B bandında 0.537 ve V bandında 0.543 olarak belirlendi ve sabit tutuldu.

Çizelge 5. EE Cet'in eş zamanlı BV ışık eğrisi çözüm sonuçları

Parametre	Değeri	Parametre	Değeri
$\sigma$	0.0071	$a_{1(c,h)}(B)$	+0.3927, +0.3422
$q = m_h/m_c$	0.315	$a_{1(c,h)}(V)$	+0.4604, +0.4180
$T_c$	6095	$a_{2(c,h)}(B)$	+0.3053, +0.5859
$A_h = A_c$	0.5	$a_{2(c,h)}(V)$	+0.3451, +0.5701
$\beta_h = \beta_c$	0.08	$a_{3(c,h)}(B)$	+0.4085, -0.0024
$f_h = f_c$	1.0	$a_{3(c,h)}(V)$	+0.1141, -0.2428
$A_s = T_s / T_c$	$0.91 \pm 0.01$	$a_{4(c,h)}(B)$	-0.2537, -0.0866
$\theta_s$	$15.8 \pm 0.6$	$a_{4(c,h)}(V)$	-0.1426, +0.0158
$\lambda_s$	$301.8 \pm 4.2$	$\Omega_{c,h}$	2.4351
$\varphi_s$	$21.5 \pm 7.0$	$\Omega_{in}, \Omega_{out}$	2.4991, 2.3034
$T_h$	$6314 \pm 12$	$f_{over}$	% 32.69
$F_c$	$1.029 \pm 0.001$	$M_{c,h} (M_{\odot})$	$1.38 \pm 0.04, 0.43 \pm 0.02$
$i$	$78^{\circ}.5 \pm 0^{\circ}.2$	$R_{c,h} (R_{\odot})$	$1.35 \pm 0.02, 0.82 \pm 0.01$
$L_3(B)$	0.537	$\log(g_c, g_h)$	$4.32 \pm 0.05, 4.25 \pm 0.06$
$L_3(V)$	0.543	$M_{bol(c,h)}$	$3.90 \pm 0.08, 4.83 \pm 0.06$
$R_{c,h} [D=1]$	0.465, 0.279	$a (R_{\odot})$	$2.69 \pm 0.02$
$L_c/(L_c+L_h+L_3)$	0.319(B), 0.317(V)		

Sistemin ışık eğrisindeki asimetri bileşenlerdeki etkinliklere işaret etmektedir. Işık eğrisini iyi bir biçimde temsil edebilmek için XY Leo'da olduğu gibi EE Cet'te de üç teorem sınandı. İlk olarak lekesiz Roche modeli uygulanması, daha sonra yansıtma güçlerinin serbest bırakılması ve son olarak lekeli çözüm ile ışık eğrisi çok iyi bir biçimde temsil edildi. Sonuçta, birinci bileşenin ikinci bileşene bakan tarafında bir soğuk leke bölgesi olduğu belirlendi. Analiz sonuçları Çizelge 5'te verilmiştir. Çizelgedeki sembollerin temsil ettiği parametreler Çizelge 4'deki ile aynıdır. Bileşenlere ait mutlak parametreler, ışık eğrisi çözümünün, Rucinski vd.'nin [11] dikine hız gözlemleri birleştirilmesi ile hesaplanmıştır.

Şekil 5'te ise gözlenen ve teorik ışık eğrileri ve bunların farklarıyla birlikte sistemin 0.25 evresindeki Roche geometrisi görülmektedir.



Şekil 5. EE Cet'in gözlenen ve teorik ışık eğrileri, bunların artıkları ve sistemin 0.25 evresindeki Roche geometrisi

### 3.3. AQ Psc

Analizlerde kütle oranı için sabit değer olarak Lu ve Rucinski'nin [13] verdiği tayfsal kütle oranı  $q = m_c/m_h = 0.226$  kullanıldı. Sistemin Sarma ve Radhakrishnan [12] tarafından verilen F8V tayf türüne ve Popper'in [22] kalibrasyonuna uygun biçimde büyük kütleli bileşenin sıcaklığı  $T_h = 6095$  K olarak alındı.

Işık eğrisinde görülen asimetriyi tam olarak açıklayabilmek için AQ Psc'da da diğer iki sistemdeki yol izlendi. Birinci minimumda, büyük kütleli bileşenin örtüldüğü kabul edildi (A türü sistem) ve öncelikle lekesiz Roche moldeli uygulanarak çözüm yapıldı.

Bu çözümden kalan O – C farkları (özellikle 0.3 – 0.4 evre aralığında) bileşenlerdeki etkinliği işaret etmektedir. Ters problemin çözümü yakın sıcaklıktaki bileşenlerden ( $\Delta T \approx 150$  K) oluşan bir aşırı degen sisteme işaret etmektedir. Kütleler arasındaki büyük fark dikkate alındığında bileşenler arasında ortak zarftaki sıcaklığı dengeleyen bir enerji aktarımı olduğu akla gelmektedir.

İkinci adımda yansıtma güçlerinin serbest bırakılmasıyla, soğuk bileşenin beklenenden daha büyük bir yansıtma gücüne sahip olduğu görülmüştür. Bu da  $L_1$  Lagrange noktası civarında bir sıcak leke bölgesi olduğuna işaret etmektedir. Son olarak yansıtma güçlerinin 0.5 değerinde sabitlenmesiyle leke çözümü yapılmış ve gözlemler iyi bir şekilde temsil edilebilmiştir.

Sistemin yörünge eğimi  $68^\circ.9$  olarak elde edilmiş olup, ışık eğrisinin görel olarak küçük olan genliği tutulmanın parçalı olması ile açıklanabilir. Çözümler sistemin görel olarak yüksek bir değme derecesine ( $f_{over} = \% 23$ ) sahip olduğunu göstermektedir.

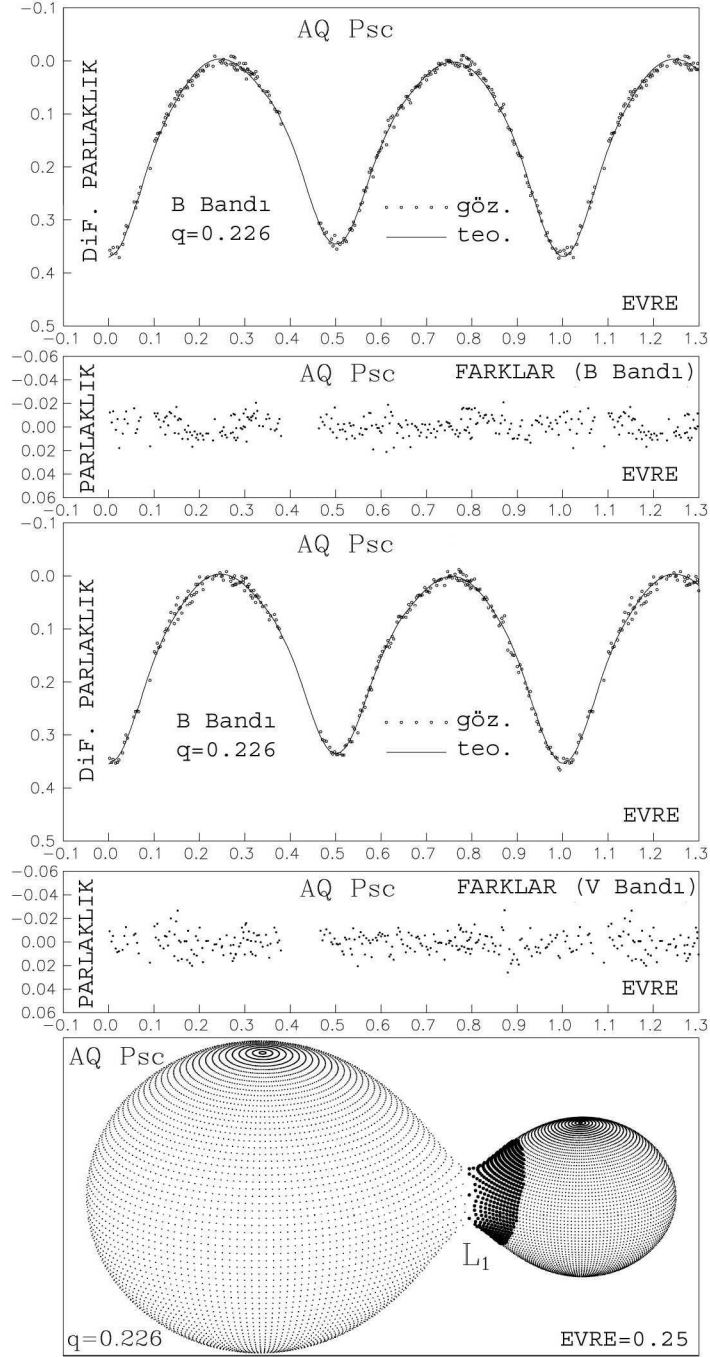
Çözümlerden de görüldüğü gibi ikinci bileşen sistemdeki soğuk bileşendir ve yüzey çekim ivmesi birinci bileşene göre bir miktar küçüktür. Bütün bunlar A türü W UMa sistemleri için tipik özelliklerdir.

Çizelge 6. AQ Psc'm eş zamanlı BV ışık eğrisi çözüm sonuçları

Parametre	Değeri	Parametre	Değeri
$\sigma$	0.0084	$a_{1(h,c)}(B)$	+0.3806, +0.4109
$q = m_c/m_h$	0.226	$a_{1(h,c)}(V)$	+0.4516, +0.4789
$T_h$	6095	$a_{2(h,c)}(B)$	+0.3485, +0.1741
$A_h = A_c$	0.5	$a_{2(h,c)}(V)$	+0.3811, +0.2351
$\beta_h = \beta_c$	0.08	$a_{3(h,c)}(B)$	+0.3491, +0.5969
$f_h = f_c$	1.0	$a_{3(h,c)}(V)$	+0.0627, +0.2891
$A_s = T_s / T_h$	$1.06 \pm 0.01$	$a_{4(h,c)}(B)$	-0.2262, -0.3205
$\theta_s$	$36.2 \pm 1.8$	$a_{4(h,c)}(V)$	-0.1193, -0.2161
$\lambda_s$	$170.6 \pm 1.2$	$R_{h,c} [D=1]$	0.486, 0.250
$\varphi_s$	$8.9 \pm 5.9$	$L_h/(L_h+L_c)$	0.798(B), 0.797(V)
$T_c$	$5946 \pm 12$	$M_{h,c} (M_\odot)$	$1.65 \pm 0.04$ , $0.37 \pm 0.02$
$F_h$	$1.016 \pm 0.001$	$R_{h,c} (R_\odot)$	$1.70 \pm 0.02$ , $0.88 \pm 0.01$
$i$	$68^\circ.9 \pm 0^\circ.1$	$\log(g_h, g_c)$	$4.20 \pm 0.05$ , $4.12 \pm 0.06$
$\Omega_{h,c}$	2.2630	$M_{bol(h,c)}$	$3.41 \pm 0.07$ , $4.94 \pm 0.08$
$\Omega_{in}, \Omega_{out}$	2.2962, 2.1529	$a (R_\odot)$	$3.24 \pm 0.03$
$f_{over}$	$\% 23.16$		

Analiz sonucunda elde edilen değerler Çizelge 6'da verilmiştir. Çizelgedeki sembollerin temsil ettiği parametreler Çizelge 4'teki ile aynıdır.

Bileşenlere ait mutlak parametreler, ışık eğrisi çözümünün, Lu ve Rucinski'nin [13] verdiği tayfsal elemanlar ile birleştirilmesi ile hesaplanmıştır. Şekil 6'da ise gözlenen ve teorik ışık eğrileri ve bunların farklarıyla birlikte sistemin 0.25 evresindeki Roche geometrisi görülmektedir.



Şekil 6. AQ Psc'in gözlenen ve teorik ışık eğrileri, bunların artıkları ve sistemin 0.25 evresindeki Roche geometrisi

## 4. Tartışma ve Sonuç

### 4.1. XY Leo

Çizelge 4 ve Şekil 4'ten görüldüğü gibi XY Leo'nun gözlenen ışık eğrisi, küçük kütleli yıldız üzerinde soğuk leke olan Roche modeli ile başarılı bir şekilde temsil edilmektedir. Soğuk lekenin varlığı ile elde edilen kuramsal BV ışık eğrileri gözlemsel eğri ile çok iyi uyuyorken, lekесiz çözüm ile üretilen kuramsal ışık eğrileri ise özellikle 0.0 – 0.3 evre aralığında başarısız olmaktadır.

Çözümler, XY Leo'nun W alt türünden bir W UMa değen sistemi olduğunu göstermektedir. Bileşenlerin değme derecesi oldukça düşük olup (% 2.4), yörünge eğiminin küçük olması nedeniyle ( $68^\circ$ ) parçalı tutulma görülmektedir. Değme derecesinin küçüklüğü ve bileşenler arası sıcaklık farkının büyük oluşu ( $\Delta T = 330$  K) dikkate alındığında sistemin değme durumuna yeni geldiği söylenebilir. Sistemin mutlak parametreleri küçük kütleli sıcak bileşenin, aynı kütleyle sahip normal anakol yıldızlarına göre aşırı parlak ve büyük yarıçaplı olduğunu göstermektedir. Büyük kütleli bileşenin bolometrik mutlak parlaklığı, Popper [22] ve Dorman vd.'nin [26] öngördüğü değerlerle uyumluyken, küçük kütleli bileşen ise öngörülenden  $1^m.6$  daha parlaktır. Hrivnak'a [4] göre bu fazla parlaklığın nedeni büyük kütleli bileşenden küçük kütleli bileşene doğru enerji aktarımıdır. Wang [27] ise bu duruma, Lucy [28] ve Lucy ve Wilson [29] tarafından geliştirilmiş olan "ısısal durulma-salınımları" kuramını temel olan bir açıklama getirmiştir. Buna göre, W alt türündeki sistemlerde sıcak ikinci bileşen ZAMS yarıçapına göre büzülme evresindedir ve aşırı parlaklığının nedeni, büzülme esnasında ortaya çıkan çekim enerjisinin ısıya dönüşmesidir. Bu, W türü sistemlerdeki zayıf değmenin nedenidir. W türünün aksine A türlerinde ise ikinci bileşen denge durumuna doğru yavaşça genişlemektedir ve büyük doldurma faktörüne ve farkedilebilir şekilde aşırı değme yapısına sahiptirler.

Küçük kütleli sıcak yıldız üzerindeki soğuk lekenin Güneş türü manyetik aktivite sonucunda oluştuğu düşünülmektedir.

XY Leo için hesaplanan parametreler Yakut vd. [7] tarafından verilen sonuçlarla uyumluyken, bu çalışmada analiz edilen ışık eğrileri bir miktar daha düşük değme derecesi göstermektedir. Ayrıca, üçüncü ışığın katkısı için hesapladığımız değer Yakut vd.'nin [7] verdiği değere göre B bandında bir miktar küçükken, V bandında ise hemen hemen aynıdır.

### 4.2. EE Cet

EE Cet için elde edilen sonuçlar, sistemin yüksek bir değme derecesine sahip olduğunu (%33) göstermektedir. Bununla beraber çiftin toplam ışığının üçüncü ışık tarafından büyük ölçüde etkilendiği ( $L_3 = 0.54$ ) ve bunun sistem parametrelerini özellikle de değme derecesini ve yörünge eğimini önemli miktarda etkileyebileceği unutulmamalıdır.

EE Cet'in ikinci bileşeni birinci bileşene göre 220 K daha sıcaktır ki bu W türü sistemler için tipik bir özelliktir. Işık eğrisindeki hafif asimetri birinci bileşen üzerindeki soğuk leke ile açıklanabilmektedir. Bu lekenin Güneş türü manyetik etkinlikler sonucunda oluştuğu söylenebilir. Fakat asimetrinin doğasının tam olarak açıklığa kavuştuğunu söyleyemeyiz. Şöyle ki, çiftin kuzeyindeki görsel bileşen ADS 2163'ün toplam ışığa katkısı %54 olup, bu bileşen bir fotometrik değişen olmalıdır. Rucinski vd.'ne [11] göre bu yıldız aynı tayf türünden bileşenlerden oluşan bir değen tayfsal çift sistemdir. Bu durumda 0.3 – 0.4 gün dönemli bir değişkenlik beklenebilir. Buna göre ışık eğrisindeki asimetrinin nedeni görsel bileşenin ışığındaki değişim olabilir. Bu durumda da leke varsayımı geçersizdir. Işık eğrisindeki asimetrinin gerçek nedenini öğrenebilmek için EE Cet'i görsel bileşenin etkisi olmadan inceleyebileceğimiz fotometrik CCD gözlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

### 4.3. AQ Psc

Çözümler, AQ Psc'nin A alt türünden aşırı değen (%23) bir W UMa olduğunu göstermektedir. Yaklaşık  $69^\circ$  olan yörünge eğimi nedeniyle sistemin ışık eğrisi parçalı tutulma göstermektedir. Bileşenler arasındaki kütle farkının büyük olmasına rağmen ( $q = 0.226$ ), sıcaklıklar arası fark görece olarak küçüktür ( $\Delta T = 150$  K). Bu, büyük kütleli sıcak bileşenden diğer bileşene doğru, ortak zarfın boyun noktası boyunca önemli miktarda bir enerji aktarımının olduğunu göstermektedir. Roche modeline, soğuk bileşen üzerindeki parlak leke bölgesi ilave edildiğinde, sentetik ışık eğrisi, gözlemleri başarılı bir şekilde temsil edebilmektedir. Parlak leke, bileşenler arasındaki kütle aktarımı sonucunda meydana gelmektedir.

### Kaynaklar

- [1] Hoffmeister, C., 1934, AN, 253, 195, "132 Neue Veränderliche".
- [2] Hilditch, R.W., 1981, MNRAS, 196, 305, "A Study of Four Contact Binary Systems Using the DDO Photometric System".
- [3] Kaluzny, J. ve Pojmanovski, G., 1983, AcA, 33, 277, "XY Leo and the Cause of the W-Subclass Light Curves".
- [4] Hrivnak, B.J., 1985, ApJ, 290, 696, "A photometric Study and Analysis of XY Leonis".
- [5] Gehlich, U.K., Prolss, J. ve Wehmeyer, R., 1972, A&A, 18, 477, "Period Changes in the W Ursae Majoris Star XY Leo".
- [6] Pan., L. ve Cao. M., 1998, Ap&SS, 259, 285, "Study on the Period Changes of XY Leonis".
- [7] Yakut, K. vd. (4 yazar), 2003, A&A, 401, 1095, "New Light Curve Analysis and Period Changes of the Overcontact Binary XY Leonis".
- [8] Barden, S. C., 1987, ApJ, 317, 333, "Detection of a BY Draconis-like Binary Companion to Contact Binary XY Leonis".
- [9] Wilson R.E. ve Devinney, E.J., 1971, ApJ, 166, 605, "Realization of Accurate Close-Binary Light Curves: Application to MR Cygni".
- [10] ESA, 1997, The Hipparchos and Tycho Catalogs, SP-1200.
- [11] Rucinski, S.M. vd. (7 yazar), 2002, AJ, 124, 1738, "Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. VI."
- [12] Sarma, M.B.K. ve Radhakrishnan, K.R., 1982, IBVS 2073, "HD 8152 - a New W Ursae Majoris Type Eclipsing Binary".
- [13] Lu, W. ve Rucinski, S.M., 1999, AJ, 118, 515, "Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. I."
- [14] Yamasaki, A., 2005, Ap&SS, 296, 277, "AQ Psc Analysis of New Light Curves".
- [15] Kwee, K.K. ve van Woerden, H., 1956, BAN, "A Method for Computing Accurately the Epoch of Minimum of an Eclipsing Variable".
- [16] Djurasevic, G., 1992a, Ap&SS, 196, 241, "An Analysis of Active Close Binaries (CB) Based on Photometric Measurements. I - A model of Active CB with Spots on the Components. II - Active CB with Accretion Discs".
- [17] Djurasevic, G., Zakirov, M., Hojaev, A., Arzumanyants, G., 1998, A&AS, 131, 17, "Analysis of the Activity of the Eclipsing Binary WZ Cephei".
- [18] Djurasevic, G., 1992b, Ap&SS, 197, 17, "An analysis of Active Close Binaries (CB) Based on Photometric Measurements. III - The Inverse-Problem Method: An Interpretation of CB Light Curves".
- [19] Marquardt, D.W., 1963, J.Soc.Ind.Appl.Math., 11, No.2, 431.
- [20] Lucy, L.B., 1967, ZA, 65, 89, "Gravity-Darkening for Stars with Convective Envelopes".
- [21] Claret, A., 2000, A&A, 363, 1081, "A New Non-Linear Limb-Darkening Law for LTE Stellar Atmosphere Models. Calculations for  $-5.0 \leq \log[M/H] \leq +1$ ,  $2000 \text{ K} \leq T_{\text{eff}} \leq 50000 \text{ K}$  at Several Surface Gravities".
- [22] Popper, D.M., 1980, ARA&A, 18, 115, "Stellar Masses".

- [23] Lampens, P., vd (4 yazar), 2001, A&A, 374, 132, "CCD Photometry and Astrometry for Visual Double and Multiple Stars of the HIPPARCOS Catalogue III. CCD Photometry and Differential Astrometry for 253 Southern "Intermediate" Systems".
- [24] Hog, E., vd (9 yazar), 2000, A&A, 335L, 27H, "The Tycho-2 Catalogue of the 2.5 Million Brightest Stars".
- [25] Dommagent, J., Nys, O., 2002, Observations et Travaux, 54, 2 (VizieR On-Line Data Catalog: I/274).
- [26] Dorman, B., Nelson, L.A. ve Chau, W.Y., 1989, ApJ, 342, 1003, "Theoretical Models of Low-Mass Stars and Brown Dwarfs. I - The Lower Main Sequence".
- [27] Wang, J.M., 1994, ApJ, 434, 277, "The Thermal Relaxation Oscillation States of Contact Binaries".
- [28] Lucy, L.B., 1976, ApJ, 205, 208, "W UMa Systems with Marginal Contact".
- [29] Lucy, L.B. ve Wilson, R.E., 1979, ApJ, 231, 502, "Observational Tests of Theories of Contact Binaries".

