

# UU SAGITTE ve V477 LYRAE ÖRTEN ÇİFT YILDIZLARININ İKİ-RENK IŞIKÖLÇÜMÜ: Büyük Yarıçaplı İkinci Bileşenler

**Melike Afşar ve Cafer İbanoğlu**

*Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 35100  
Bornova, İzmir,  
[melike.afsar@ege.edu.tr](mailto:melike.afsar@ege.edu.tr), [cafer.ibanoglu@ege.edu.tr](mailto:cafer.ibanoglu@ege.edu.tr)*

## Özet

Bu çalışmada, Abell 63 ve Abell 46 gezegenimsi bulutsularının çekirdekleri olan UU Sge ve V477 Lyr örten çift yıldızlarının iki-renk (Johnson  $V$  ve  $R$ ) ışıkölçüm sonuçları sunulmaktadır. Her iki renkte elde edilen ışık eğrilerinin analizi eş-zamanlı olarak yapılmıştır. Bu sistemlere ilişkin literatüre sunulan ilk iki-renk ışık eğrisi analiz sonuçlarıdır. Sistemlerin birinci ve ikinci bileşen sıcaklıkları, sırasıyla, UU Sge için  $78\,000 \pm 3000$  K ve  $6136 \pm 240$  K, V477 Lyr için  $49\,500 \pm 4500$  K ve  $3874 \pm 350$  K olarak bulunmuştur. Daha önce yayınlanmış dikine hız verileri de kullanılarak sistemlere ilişkin salt parametreler elde edilmiştir. İkinci bileşen yarıçapları, her iki sistemde de, aynı kütleli bir anakol yıldızı için beklenenden çok daha büyüktür. “Ortak-zarf sonrası” ya da “Kataklismik-öncesi” çift yıldızlar olarak da sınıflandırılan UU Sge ve V477 Lyr, ikinci bileşen yarıçapları beklenenden büyük olan benzer sistemler ile birlikte incelenerek büyük yarıçapın olası nedenleri tartışılmıştır. Seçilen sistemler arasında gezegenimsi bulutsu çekirdeği olan UU Sge, V477 Lyr, BE UMa ve KV Vel ile HS 1136+6646 ve RE 1016-053 çift sistemlerindeki ikinci bileşenlerin hala ısıl dengeye ulaşmadıkları, diğer sistemlerin ise uzun zaman önce ısıl dengeye ulaşmış oldukları sonucuna varılmış, bu sistemlerde büyük yarıçapların nedeni olarak olası manyetik aktivite önerilmiştir.

UU Sge ve V477 Lyr sistemlerinin evrim durumları incelenmiş, farklı başlangıç kütleli evrim senaryoları dikkate alınarak, yörünge enerjisinin ortak zarfın atımı sırasında nasıl kullanıldığını gösteren “alfa ( $\alpha_{CE}$ )” etkinlik parametreleri hesaplanmıştır.

*Anahatar Kelimeler:* Yakın çift yıldızlar, Yıldız evrimi, Post-AGB yıldızları, UU Sge, V477 Lyr

### **Abstract**

We present the first complete two-color (Johnson V and R) CCD photometry of UU Sge and V477 Lyr, the eclipsing binary nuclei of the planetary nebulae Abell 63 and Abell 46, respectively. The two-color light curves of the systems have been analyzed simultaneously. The effective temperatures of the primary and secondary stars were estimated as  $78\,000 \pm 3000$  and  $6136 \pm 240$  K for UU Sge,  $49\,500 \pm 4500$  and  $3874 \pm 350$  K for V477 Lyr. Previously measured radial velocities have been also re-analyzed and the results were combined with those obtained from the analysis of the light curves. The absolute parameters of the component stars were calculated and the secondary stars are found to have larger radii than expected from their main-sequence counterparts at same masses. Possible reasons for the expanded radius of the secondary components of UU Sge and V477 Lyr, together with some selected post-common envelope binaries were investigated. It is found that the secondary components of the nuclei of the planetary nebulae are still out of thermal equilibrium along with two post-common envelope systems: HS 1136+6646 and RE 1016-053. The rest of the systems were found to be thermally relaxed relatively long ago and the magnetic activity have been suggested as the more plausible reason for the expanded radii of the secondary stars.

The evolutionary states of UU Sge and V477 Lyr were discussed. The efficiency parameter ( $\alpha_{CE}$ ), which defines the orbital energy being used during the common envelope ejection, has been also estimated for UU Sge and V477 Lyr.

*Key words:* Close binaries, Stellar evolution, Post-AGB stars, UU Sge, V477 Lyr

## 1. Giriş

Gezegensimsi bulutsular (GB), başlangıç kütleleri  $0.8 \leq M/M_{\odot} \leq 10$  olan tek yıldızların asimptotik dev kolu (AGB-Asymptotic Giant Branch) evriminin sonunda uzaya attıkları zarflarıdır. Bununla birlikte, bugüne kadar GB'ların %10 – 15 kadarının yakın çift çekirdeklere sahip olduğu bulunmuştur (Bond ve Grauer 1987; Bond ve Livio 1990; Bond 2000). Bu cisimlerin varlığı "ortak zarf (OZ) atımı" kavramıyla açıklanmaya çalışılmıştır (Paczynski 1976; Iben ve Livio 1993; Iben ve Tutukov 1993). OZ evrim kuramına göre, birinci bileşenin atmosferi kırmızı dev kolu (RGB-Red Giant Branch) ya da AGB evrimi sırasında genişler. Çift sistemin başlangıçtaki ayrıklık değerine bağlı olarak, her iki bileşen de baş yıldızın genişleyen atmosferinin içinde kalır. İkinci bileşenin birinci bileşen etrafındaki yörünge hareketinden (*spiral-in*) kaynaklanan çekimsel sürüklenme nedeniyle yörünge büzülür. Toplam açısal momentumun korunumu nedeniyle yörünge açısal momentumu OZ'a aktarılır ve bunun sonucunda zarf hızlanır ve sistemden atılır. Böylece, merkezinde yakın bir çift sistem bulunduran "çift çekirdekli" bir GB (ÇÇGB) ortaya çıkar. Yörünge enerjisinin ne kadarının zarfın atımında kullanıldığını gösteren parametre ise "etkinlik parametresi" olarak tanımlanır ve " $\alpha_{CE}$ " ile gösterilir. Yıldız ve bulutsuya ilişkin parametreleri belirlemek zor olduğundan OZ evrimi hakkındaki bilgilerimiz sınırlıdır. Oysa yakın ÇÇGB'nin varlığı OZ evriminin doğrudan kanıtıdır ve bu sistemlerin salt parametreleri doğrudan hesaplanabilir.

Sınırlı sayıda bulunan bu sistemlerden yalnızca dört tanesi örten çift yıldız sistemidir: UU Sge, V477 Lyr, BE UMa ve SuWt 2.

UU Sge, Abell 63 GB'nun çekirdeğidir ve örten değişen olduğu ilk olarak Hoffeit (1932) tarafından bildirilmiştir. Bond (1976), çift sistemin, Abell (1966) tarafından keşfedilen GB'nun çekirdeği olduğunu rapor etmiştir. Sistemin ilk ışık eğrisi Bond ve diğ. (1978) tarafından elde edilmiştir. B süzgeci kullanılarak elde edilen ışık eğrisinde sistemin baş minimumunda tam tutulma gösterdiği görülmektedir. Ayrıca maksimumlarda sinüs benzeri bir yapı oluşturan kuvvetli yansıma etkisi de oldukça dikkat çekicidir. Çiftin  $2''.8$  uzağında görsel bir bileşeni bulunmaktadır. Bond ve diğ. ışık eğrisinin analizi sırasında bu bileşenin katkısını arındıramamış,

bununla birlikte, baş minimumun gerçek derinliğini 4.3 kadir kabul ederek yaptıkları analiz sonucunda birinci bileşenin sıcaklığı 35 000 K olan bir altcüce, ikinci bileşenin ise bir K cücesi olduğunu bildirmişlerdir.

Sistemin ilk CCD-ışıkölçüm gözlemi Pollacco ve Bell (1993, PB93) tarafından yapılmıştır. Gözlemler V ve I süzgeci kullanılarak gerçekleştirilmiştir. V süzgecinde ışık eğrisinin tamamı elde edilmiş, I süzgecinde ise sadece baş minimum gözlemleri yapılarak tam tutulma özelliğinden ikinci bileşenin sıcaklığı elde edilmeye çalışılmıştır. Sistemin ilk dikine hız verileri de bu çalışmada verilmektedir. Baş bileşenin sıcaklığı 117 500 K, yoldaşın sıcaklığı ise ~7300 K olarak bulunmuştur. Analiz sonuçları ikinci bileşenin yarıçapının beklenenden (anakol yıldızı olduğu varsayımıyla) yaklaşık 2 kat daha büyük olduğunu göstermiştir.

Bell ve diğ. (1994, BPH94) yaptıkları çalışmada baş minimumda alınan tayflara Kurucz (1979) atmosfer modellerini uygulayarak yoldaşın sıcaklığını  $6250 \pm 250$  K olarak belirlemişlerdir. “Kenar parlaması” varsayımı kullanılarak yaptıkları çözümlerde birinci bileşen sıcaklığını  $87\,000 \pm 13\,000$  K olarak bulmuşlardır.

V477 Lyr, Abell 46 GB’nun çekirdeğidir. UU Sge’ye benzer bir ışık eğrisi olan sistemin baş minimumunun parçalı olduğu Bond (1980) tarafından rapor edilmiştir. Sistem, UU Sge’ye oranla daha büyük genlikli (~0.6 kadir) yansıma etkisine sahiptir. Sistemin ilk CCD-ışıkölçümü Pollacco ve Bell (1994, PB94) tarafından gerçekleştirilmiştir. V süzgecinde elde edilen ışık eğrisinin kenar parlaması varsayımıyla yapılan analizi sonucunda birinci bileşen sıcaklığı 60 000 K, ikinci bileşen sıcaklığı ise ~5300 K olarak bulunmuş, yarıçapı ise bu sıcaklıktaki bir anakol yıldızından beklenenden daha büyük olarak bildirilmiştir. Sistemin ilk dikine hız verileri de aynı çalışmada sunulmuştur.

Bu çalışmada, her iki sistemin V ve R süzgeçlerinde yapılan CCD-ışıkölçüm gözlemleriyle elde edilmiş ışık eğrilerinin analiz sonuçlarını sunmaktayız. Amaç, iki-renk ışık eğrilerinin eş-zamanlı çözümünden faydalanarak sistem üyelerine ilişkin sıcaklık değerlerini sınırlandırmaktır. Ayrıca OZ etkinlik parametreleri ( $\alpha_{CE}$ ) hesaplanarak, beklenenden daha büyük çıkan yarıçapların nedenleri tartışılmaktadır.

## 2. Gözlemler ve Verilerin Analizi

Her iki sistemin gözlemleri sırasında Tübitak Ulusal Gözlemevi'ndeki (TUG) 1.5-m'lik Cassegrain teleskop (RTT 150) ve ona bağlı CCD kamera kullanılmıştır. Gözlemler, 2002 Temmuz ve Ağustos aylarında toplam 9 gecede gerçekleştirilmiştir.

UU Sge sisteminin baş minimum ortası ve maksimumdaki parlaklıkları PB93 tarafından sırasıyla 19.24 ve 14.67 kadir olarak verilmiştir. Bu nedenle gözlemler sırasında poz süresi 60 ve 120 s olarak belirlenmiştir. UU Sge kalabalık bir bölgede bulunduğundan veriler IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) içinde bulunan ve kalabalık alanlar için kullanılan DAOPHOT paketi kullanılarak indirgenmiştir. Verilerin indirgenmesi sırasında UU Sge çift sisteminin 2".8 uzaklığında bulunan görsel bileşenin etkisi de arındırılmıştır. Tam tutulma görülen baş minimum derinliği V ve R süzgeçlerinde, sırasıyla,  $4.450 \pm 0.075$  ve  $3.764 \pm 0.074$  kadir olarak hesaplanmıştır. Yansıma etkisinin genlikleri ise yine sırasıyla 0.396 ve 0.446 kadir olarak belirlenmiştir.

V477 Lyr sisteminin gözlemleri sırasında poz süresi 60 s olarak belirlenmiştir. Veriler IRAF içinde yer alan APPHOT paketi kullanılarak indirgenmiştir. Sistemin gösterdiği kuvvetli yansıma etkisinin genliği ise V ve R süzgeçlerinde, sırasıyla, 0.588 ve 0.665 kadir olarak hesaplanmıştır.

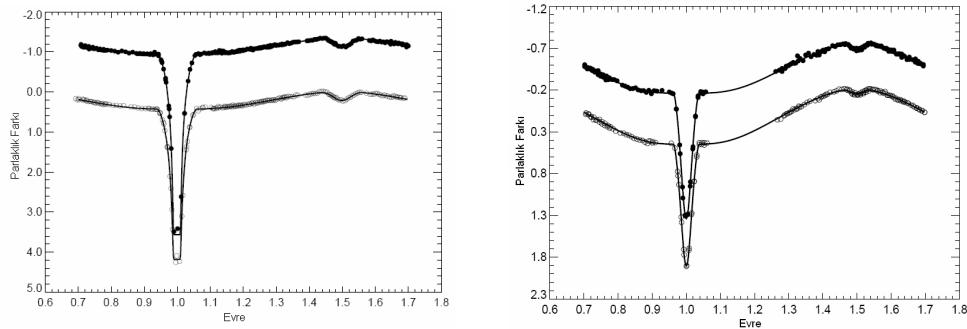
### 2.1. UU Sge

Işık eğrilerinin eş zamanlı çözümü için Wilson-Devinney (W-D, Wilson ve Devinney 1971, Wilson 1979, 1990, Wilson ve Van Hamme 2003) programının 2003 versiyonu kullanılmıştır. Kütle oranı- $q$  değeri PB93 tarafından verilerin dikine hız verilerinin tekrar analiz edilmesi ile yeniden belirlenmiştir. Dikine hız analiz sonuçları Tablo 1'de verilmektedir.  $q$  değeri çözümler sırasında sabit olarak alınmıştır. Yansıma etkisinin çok kuvvetli olması nedeniyle çözümler sırasında ikinci bileşenin albedo değeri- $A_2$  serbest bırakılmıştır. Serbest bırakılan diğer parametreler: ikinci bileşen sıcaklığı- $T_2$ , birinci bileşen ışıması- $L_1$ , bileşenlerin yüzey potansiyelleri- $\Omega_1$ ,  $\Omega_2$ , ikinci bileşene ilişkin lineer kenar kararma katsayıları- $x_2(V)$ ,  $x_2(R)$ , yörünge eğikliği- $i$ . Lineer kenar kararma katsayılarının giriş değerleri Claret'den (1998) alınmıştır. Bolometrik kenar kararma katsayıları için ise Van Hamme

(1993) tarafından verilen tablolardan faydalanılmıştır. Birinci bileşen sıcaklığını belirlemek için yapılan çözüm denemeleri  $0.5 \leq A_2 \leq 1$  değerlerini alacak şekilde sınırlandırılmış ve en küçük hatayı veren çözüme  $T_1=78\ 000\ K$  için ulaşılmıştır. Çözümle elde edilen kuramsal eğrinin gözlem verileri ile uyumu Şekil 1’de, kuramsal eğriyi sağlayan parametre değerleri ise Tablo 2’de verilmektedir. Parametrelere ilişkin hata değerleri W-D programının verdiği  $1\sigma$  düzeyindeki hata değerleridir. Birinci bileşen sıcaklığının hata değerini hesaplamak için klasik “sigma” taraması yöntemi kullanılmış ve bu değer  $\sim 3000\ K$  olarak bulunmuştur. İkinci bileşen sıcaklığının hatası da bu değere göre düzeltilmiştir. Hata değerleri hesaplanan bazı salt parametreler ile birlikte Tablo 3’de verilmektedir.

**Tablo 1.** Her iki sistem için dikine hız verilerinin analiz sonuçları (veriler PB93 ve PB94’den alınmıştır).

	$K_1$ ( $km/s$ )	$K_2$ ( $km/s$ )	$q$	$asini$ ( $R_\odot$ )
UU Sge	83.8 $\pm 6.7$	182.8 $\pm 7.4$	0.458 $\pm 0.034$	2.45 $\pm 0.09$
V477 Lyr	51.9 $\pm 6.4$	182.1 $\pm 7.1$	0.285 $\pm 0.026$	2.18 $\pm 0.09$



**Şekil 1.** UU Sge (solda) ve V477 Lyr (sağda) için V (dolu-daire) ve R (boş-daire) süzgeçlerinde gözlenen ışık eğrileri. Çözüm sonucu elde edilen kuramsal eğriler düz çizgi ile gösterilmiştir.

## 2.2. V477 Lyr

Işık eğrilerinin eş zamanlı çözümü W-D programı kullanılarak yapılmıştır. Serbest bırakılan ve sabit tutulan parametreler UU Sge için tanımlandığı gibidir. Çözüm denemeleri sonucu birinci bileşen sıcaklığı 49 500 K olarak belirlenmiştir. Çözüm sonuçlarının gözlem verileri ile uyumu Şekil 1’de görülmektedir. Sonuçlar Tablo 2 ve Tablo 3’de sunulmaktadır.

**Tablo 2.** Eş zamanlı ışık eğrisi çözümlerinden elde edilen parametreler.

Parametre	UU Sge	V477 Lyr
$i$ ( $^{\circ}$ )	$87.12 \pm 0.19$	$80.33 \pm 0.06$
$\Omega_1$	$7.497 \pm 0.040$	$13.123 \pm 0.099$
$\Omega_2$	$3.309 \pm 0.009$	$2.738 \pm 0.006$
$T_1$ (K)	78 000	49 500
$T_2$ (K)	$6136 \pm 80$	$3874 \pm 120$
$L_1/(L_1 + L_2)_V$	$0.9837 \pm 0.0035$	$0.9940 \pm 0.0029$
$L_1/(L_1 + L_2)_R$	$0.9673 \pm 0.0026$	$0.9811 \pm 0.0031$
$A_1$	1.0	1.0
$A_2$	$0.927 \pm 0.037$	$0.998 \pm 0.036$
$g_1$	1.0	1.0
$g_2$	0.32	0.32
$\langle r_1 \rangle$	$0.1423 \pm 0.0013$	$0.0779 \pm 0.0007$
$\langle r_2 \rangle$	$0.2277 \pm 0.0010$	$0.2091 \pm 0.0003$
$x_1(\text{bol})$	0.616	0.616
$x_2(\text{bol})$	0.493	0.384
$x_1(V)$	0.100	0.192
$x_1(R)$	0.070	0.162
$x_2(V)$	$0.478 \pm 0.078$	$0.210 \pm 0.051$
$x_2(R)$	$-0.148 \pm 0.074$	$-0.121 \pm 0.053$
$r_{ss}$	0.007	0.023

**Tablo 3.** UU Sge ve V477 Lyr’in bileşenlerinin salt öğeleri.

Parametre	UU Sge	V477 Lyr
$M_1$ ( $M_{\odot}$ )	$0.628 \pm 0.053$	$0.508 \pm 0.046$
$M_2$ ( $M_{\odot}$ )	$0.288 \pm 0.031$	$0.145 \pm 0.021$
$R_1$ ( $R_{\odot}$ )	$0.349 \pm 0.013$	$0.172 \pm 0.007$
$R_2$ ( $R_{\odot}$ )	$0.558 \pm 0.021$	$0.462 \pm 0.019$
$T_1$ (K)	$78\,000 \pm 3000$	$49\,500 \pm 4500$
$T_2$ (K)	$6136 \pm 240$	$3874 \pm 350$
$\log g_1$ (cgs)	$5.151 \pm 0.050$	$5.672 \pm 0.053$
$\log g_2$ (cgs)	$4.404 \pm 0.058$	$4.269 \pm 0.073$

### 3. Büyük Yarıçaplı İkinci Bileşenler ve Sistemlerin Evrim Durumları

UU Sge ve V477 Lyr'in ikinci bileşenlerinin yarıçapları aynı kütleli bir anakol yıldızından beklenenden daha büyük olarak bulunmuştur. İkinci bileşeni olması gerekenden daha büyük olan başka OZ-sonrası (post-common envelope) sistemler de vardır. Bu sistemlerin bazıları Tablo 4'de listelenmiştir. İkinci bileşenin yarıçapı listedeki diğer sistemlerden daha büyük olan Hyades açık yıldız kümesinin iyi bilinen üyesi V471 Tau da tabloda verilmektedir. V471 Tau'nun baş bileşeni bir beyaz cüce, yoldaşı ise K tayf türünden bir kırmızı cücedir. O'brien ve diğ. (2001) tarafından yapılan bir çalışmada V471 Tau'nun yoldaş bileşeninin beklenenden büyük yarıçaplı olmasını açıklamak için iki öneri getirilmiştir: 1) olası bir OZ evriminden bir süre önce çıkmış olan V471 Tau'nun ikinci bileşeni henüz ısıl dengeye ulaşmamış olabilir, 2) yıldızın yüzeyini kaplayan lekeler konvektif enerjinin iletilmesini engelliyor olabilir.

Düşük kütleli ikinci bileşenlerin OZ evriminden nasıl etkilendikleri gerek gözlemsel gerekse kuramsal olarak yeterince anlaşılmiş değildir. Yapılan kuramsal çalışmalar (Prialnik ve Livio 1985, Sarna ve Ziolkowski 1988, Hjellming ve Taam 1991), düşük kütleli tümüyle konvektif ya da derin konvektif zarflara sahip olan anakol yıldızlarının baş bileşenden kütle aktarımı sonrasında, kütle aktarım hızına da bağlı olarak, yarıçapın genişlediğini gösterici yöndedir.

Düşük kütleli ikinci bileşenlerin genişlemiş yarıçaplara sahip olmasının bir başka olası nedeni de yıldız yüzeyindeki manyetik aktivitenin etkinliğidir. Mullan ve MacDonald (2001) aktif yıldızların aktif olmayanlara göre daha düşük yüzey sıcaklıklarına ve daha büyük yarıçaplara sahip olduklarını göstermiştir. Morales ve diğ. (2008) de benzer bir sonuca ulaşmış ve bu durumun düşük kütleli örten çiftlerde de geçerli olduğunu belirtmişlerdir.

Yukarıda ifade edilen olası nedenlerin ışığında Tablo 4'te de listelenmiş olan sistemlerin kuramsal sıcaklık ve yarıçap değerleri Chabrier & Baraffe (1997, CB97) tarafından verilen modeller yardımıyla bulunarak, varsayılan farklı kütle toplanma miktarları için (sırasıyla 0.05, 0.01, 0.005  $M_{\odot}$ ) ısıl dengeye ulaşma zaman ölçekleri (Prialnik ve Livio 1985) hesaplanmıştır:  $t_{th,0.05}$ ,  $t_{th,0.01}$  and  $t_{th,0.005}$ .



Gözlemlerle bulunmuş olan kütle, yarıçap ve sıcaklık değerlerinin kuramsal modellerle karşılaştırılması Şekil 3’te yapılmaktadır.

**Tablo 4.** Seçilmiş OZ-sonrası sistemlerin ikinci bileşenlerine ilişkin gözlenen ve hesaplanan parametreler. Parametrelerin tanımları metin içerisinde verilmektedir.

Yıldız	$M_2$ ( $M_\odot$ )	$R_{2,obs}$ ( $R_\odot$ )	$T_2$ (K)	$T_{2,teo}$ (K)	$R_{2,teo}$ ( $R_\odot$ )	$R_{2,obs}/R_{2,teo}$	$t_{th,0.05}$ (yr)	$t_{th,0.01}$ (yr)	$t_{th,0.005}$ (yr)	Ref.
UU Sge	0.288	0.558	6138	3420	0.280	1.989	$1.64 \times 10^8$	$3.27 \times 10^7$	$1.64 \times 10^7$	bu çalışma
V477 Lyr	0.145	0.463	3874	3130	0.170	2.727	$9.32 \times 10^8$	$1.86 \times 10^8$	$9.32 \times 10^7$	bu çalışma
KV Vel	0.230	0.402	3400	3340	0.238	1.688	$1.62 \times 10^8$	$3.24 \times 10^7$	$1.62 \times 10^7$	1
BE UMA	0.360	0.720	5800	3480	0.336	2.142	$1.28 \times 10^8$	$2.56 \times 10^7$	$1.28 \times 10^7$	2
HS 1136+6646	0.330	0.790	K7	3460	0.312	2.530	$2.01 \times 10^8$	$4.03 \times 10^7$	$2.01 \times 10^7$	3
PG1026+002	0.220	0.400	3170	3330	0.231	1.733	$1.85 \times 10^8$	$3.71 \times 10^7$	$1.85 \times 10^7$	4,5
RR Cae	0.095	0.189	2500	2730	0.118	1.598	$1.07 \times 10^9$	$2.15 \times 10^8$	$1.07 \times 10^8$	6
RR Cae	0.182	0.210	3100	3250	0.202	1.042	$1.45 \times 10^7$	$2.90 \times 10^6$	$1.45 \times 10^6$	7
RE 1016-053	0.285	0.357	M3	3420	0.278	1.283	$4.76 \times 10^7$	$9.53 \times 10^6$	$4.76 \times 10^6$	8
RE 1016-053	0.150	0.265	M5	3150	0.174	1.521	$2.62 \times 10^8$	$5.24 \times 10^7$	$2.62 \times 10^7$	9
V471 Tau	0.930	0.960	5040	5370	0.832	1.153	$5.15 \times 10^5$	$1.03 \times 10^5$	$5.15 \times 10^4$	10

Referanslar, ikinci bileşenlerin gözlenen (obs) parametre değerleri için verilmiştir: Hilditch ve diğ. (1996), (2) Ferguson ve diğ. (1999), (3) Sing ve diğ. (2004), (4) Bruch & Diaz (1999), (5) Saffer ve diğ. (1993), (6) Bruch (1999), (7) Maxted ve diğ. (2007), (8) Wood ve diğ. (1999), (9) Vennes ve diğ. (1999), (10) O’Brien ve diğ. (2001).

Isısal dengeye ulaşma zaman ölçekleri, Althaus ve Benvenuto (1998, AB98) ile Benvenuto ve Althaus (1998, BA98) tarafından verilen beyaz cüce evrim yollarından yaklaşık olarak tahmin edilen “yaş”lar (Tablo 5) ile karşılaştırılmıştır (ÇÇGB’lerin –UU Sge, V477 Lyr, KV Vel, BE UMA– yaşı ortalama 30 000 yıl (Schönberner 1983) olarak kabul edilmiştir.). Sonuçlar 5. bölümde tartışılmaktadır.

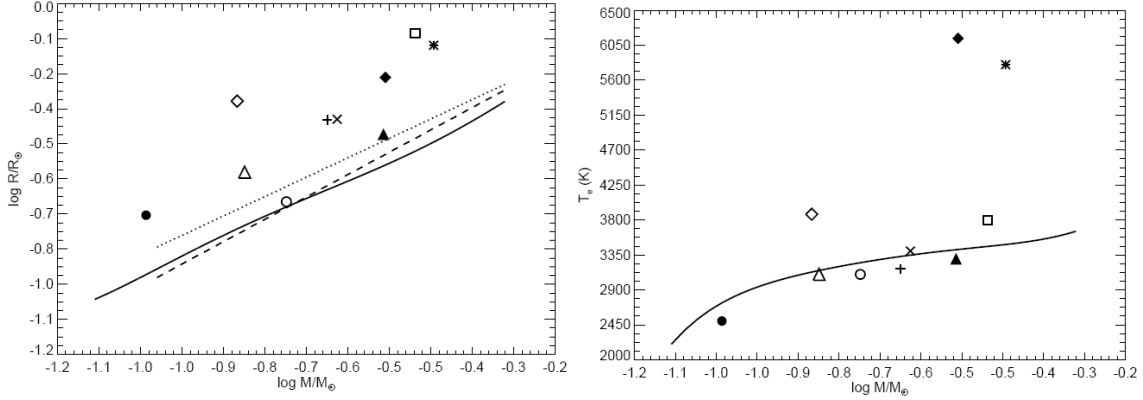
#### 4. Etkinlik Parametresi: $\alpha_{CE}$

OZ evrimi çift yıldız evriminin en az anlaşılan basamaklarından biridir. OZ evrimi sırasında çiftin ayrıklığında meydana gelen değişim yörünge enerjisindeki değişimle sonuçlanır. Yörünge enerjisindeki değişimin bir miktarı OZ’ın sistemden uzaklaştırılması için kullanılır. Yörünge enerjisindeki değişimin ne kadarlık bir kesrinin OZ atımında kullanıldığı “etkinlik parametresi” olarak tanımlanır ve “ $\alpha_{CE}$ ” ile gösterilir (örneğin, Tutukov ve Yungelson 1979, Iben ve Livio 1993, ve bu yayınlarda atıfta bulunulan diğer makaleler).

$$\alpha_{CE} = \frac{\Delta E_{bind}}{\Delta E_{orb}}$$

Bu eşitlikte  $\Delta E_{bind}$  atılan zarfın, Roche lobu taşımı (RLT) başlangıcında, çekimsel ve ısısal enerjileri arasındaki fark olup

“bağlanma enerjisi” olarak ifade edilir.  $\Delta E_{\text{orb}}$  ise *spiral-in* sürecinin başlangıcında ve sonundaki yörünge enerjileri arasındaki farktır.



**Şekil 3.** Düşük kütleli anakol yıldızları için farklı kaynaklardan alınmış kütle-yarıçap (solda) ve kütle-etkin sıcaklık (sağda) ilişkileri, düz-çizgi: CB97; noktali-çizgi: Caillault ve Patterson (1990); kesikli-çizgi: Lacy (1977). İkinci bileşen yarıçap ve kütleleri, dolu-dörtgen: UU Sge; boş-dörtgen: V477 Lyr; çarpı: KV Vel; yıldız: BE UMa; boş-kare: HS 1136+6646 (etkin sıcaklık-Leggett 1992); artı: PG 1026+002; dolu-daire: RR Cae (Bruch 1999); boş-daire: RR Cae (Maxted et al. 2007); dolu-üçgen: RE 1016-053 (Wood et al. 1999, etkin sıcaklık-Leggett 1992); boş-üçgen: RE 1016-053 (Vennes et al. 1999, etkin sıcaklık-Leggett 1992).

**Tablo 5.** OZ-sonrası sistemlerin birinci bileşenlerine ilişkin bazı parametreler.

Yıldız	$M_1$ ( $M_{\odot}$ )	$T_1$ (K)	$\log g_1$ ( $cgs$ )	$Age$ ( $yr$ )	Ref.
UU Sge	0.628	78 000	5.151	$3.0 \times 10^4$	1
V477 Lyr	0.508	49 500	5.672	$3.0 \times 10^4$	1
KV Vel	0.63	77 000	5.85	$3.0 \times 10^4$	1
BE UMa	0.70	105 000	6.5	$3.0 \times 10^4$	1
HS 1136+6646	0.63	70 000	7.75	$9.0 \times 10^5$	2
PG1026+002	0.65	17 600	8.1	$1.4 \times 10^8$	2
RR Cae	0.467	7005	7.7	$1.9 \times 10^9$	3
RR Cae	0.44	7540	7.7	$1.9 \times 10^9$	3
RE 1016-053	0.57	55 800	7.81	$1.8 \times 10^6$	2
RE 1016-053	0.59	55 000	7.84	$1.8 \times 10^6$	2
V471 Tau	0.84	34 500	8.31	$1.2 \times 10^7$	2

Referanslar, sistemlerin yaşını hesaplamada kullanılan kuramsal evrim yolları için verilmiştir (bu tabloda verilen diğer parametreler için Tablo 4'te verilen referanslara bakınız). (1) Schönberner (1983), (2) AB98, (3) BA98.

Bu çalışmanın başlıca amaçlarından birisi de OZ evriminin en önemli parametresi olan “ $\alpha_{CE}$ ”nin değerinin araştırılması ve sınırlanması üzerine yapılan çalışmalara katkıda bulunmaktır. Yapılan hesaplamalarda kullanılan eşitlikler başlıca Webbink (2007), Han ve diğ. (1995), Dewi ve Tauris (2000), De Kool (1990), Iben ve Tutukov (1986), Iben ve Livio (1993), Hurley ve diğ. (2000) tarafından yapılan çalışmalardan alınmıştır. Sonuçlar Tablo 6’da sunulmaktadır. Başlangıç kütleleri, Blöcker (1995) ve Iben ve Tutukov (1986)’un çalışmaları esas alınarak belirlenmiştir. Tabloda verilen  $R_{AGB}$  birinci bileşenin RLT sırasında ulaştığı AGB yarıçapı,  $q$  başlangıç kütle oranı (ikinci bileşenin kütlesinde önemli bir değişim olmadığı kabul edilmektedir),  $a_0$  başlangıçtaki ayırlık değeri,  $P_1$  ise çiftin başlangıçtaki yörünge dönemidir.

**Tablo 6.** Sistemlerin olası başlangıç konfigürasyonları ve etkinlik parametresi,  $\alpha_{CE}$ .

	$M_1$ ( $M_{\odot}$ )	$R_{AGB}$ ( $R_{\odot}$ )	$q$	$a_0$ ( $R_{\odot}$ )	$P_1$ ( $days$ )	$\alpha_{CE}$
UU Sge	3.0	297	10.42	511	738	0.48
	3.1	294	10.76	503	710	0.51
	4.2	266	14.58	438	501	0.99
V477 Lyr	1.0	60	6.90	110	125	0.71
	2.35	45	16.21	73	47	4.86
	3.5	40	24.14	62	30	12.82
V477 Lyr*	2.2	210	15.17	345	485	0.83

\* V477 Lyr’in birinci bileşeni yozlaşmış He cücesi olarak kabul edilmiştir.

## 5. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, birer GB çekirdeği olan UU Sge ve V477 Lyr örten çift sistemlerinin iki-renk ışık eğrilerinin eş zamanlı analiz sonuçları verilmektedir. İki-renk ışık eğrisi analizleri bileşenlere ilişkin sıcaklık değerlerinin sınırlandırılmasında büyük yarar sağlamıştır. Sistemlerin birinci ve ikinci bileşen sıcaklıkları, sırasıyla, UU Sge için  $78\,000 \pm 3000$  K ve  $6136 \pm 240$  K, V477 Lyr için  $49\,500 \pm 4500$  K ve  $3874 \pm 350$  K olarak bulunmuştur.

İkinci bileşenlerin beklenenden büyük olarak bulunan yarıçaplarının nedenleri de araştırılarak, seçilmiş bazı OZ-sonrası sistemlerden HS 1136+6646 ve RE 1016-053 ile GB çift çekirdeklerinin

ikinci bileşenlerinin ısısal dengeye ulaşmadıkları ön görülmektedir. Listede yer alan diğer sistemler ısısal dengeye ulaşmış görünmekle birlikte büyük yarıçapları için olası manyetik aktivitenin varlığı önerilmektedir. Bu önerinin doğrulanması için tayfsal gözlemlere ihtiyaç vardır.

Tablo 6’da verilen etkinlik parametre değerleri farklı başlangıç kütlelerine göre hesaplanmıştır. Bu kütlelerin belirlenmesinde, baş bileşenin evrimi sonunda bir karbon-oksijen (CO) çekirdek bırakması varsayımıyla, metin içerisinde belirtilen kuramsal çalışmalardan faydalanılmıştır. Etkinlik parametresinin “1”den büyük beklenmiyor oluşu (aksi durumda OZ atımı için yörünge enerjisinden başka enerjilere de ihtiyaç vardır) başlangıç kütle değerini sınırlar görmektedir. V477 Lyr’in Tablo 3’te verilen birinci bileşen kütlesi kuramsal çalışmalarda Helyum (He) ile CO çekirdek arasında bir geçiş değeri olduğundan V477 Lyr’in birinci bileşeni için yozlaşmış “He” çekirdek varsayımı da yapılmıştır. Başlangıç kütlelerinin  $2.2 M_{\odot}$  olması durumunda yörünge enerjisinin %83’nün OZ’ın sistemden atılmasında kullanıldığı hesaplanmıştır.

## Kaynaklar

- Abell G. O., 1966, ApJ, 144, 259  
Althaus L. G., Benvenuto O. G., 1998, MNRAS, 296, 206  
Bell S. A., Pollacco D. L., Hilditch R. W., 1994, MNRAS, 270, 449  
Benvenuto O. G., Althaus L. G., 1998, MNRAS, 293, 177  
Blöcker T., 1995, A&A, 299, 755  
Bond H. E., 1976, PASP, 88, 192  
Bond H. E., Liller W., Mannery E. J., 1978, ApJ, 223, 252  
Bond H. E., 1980, IAU Circ., 3480  
Bond H. E., Grauer A. D., 1987, in IAU Colloq. 95, Second Conf. on Faint Blue Stars (Dordrecht: Kluwer), 221  
Bond H. E., Livio M., 1990, ApJ, 355, 568  
Bond H. E., 2000, in Kastner J. H., Soker N., Rappaport S., eds, ASP Conf. Ser. Vol. 199, Asymmetrical Planetary Nebulae II: From Origins to Microstructures. Astron. Soc. Pac., San Francisco, p. 115  
Bruch A. 1999, AJ, 117, 3031  
Bruch A., Diaz M. P., 1999, A&A, 351, 573  
Caillault A. P., Patterson J., 1990, AJ, 100, 825  
Chabrier G., Baraffe I., 1997, A&A, 327, 1039  
Claret A., 1998, A&A, 335, 647  
De Kool M., 1990, ApJ, 358, 189

- Dewi J. D. M., Tauris T. M., 2000, *A&A*, 360, 1043  
Ferguson D. H., Liebert J., Haas S., Napiwotzki R., James T. A., 1999, *ApJ*, 518, 866  
Han Z., Podsiadlowski P., Eggleton P. P., 1995, *MNRAS*, 272, 800  
Hilditch R. W., Harries T. J., Hill G., 1996, *MNRAS*, 279, 1380  
Hjellming M. S., Taam, R. E., 1991, *ApJ*, 370, 709  
Hoffleit, D., 1932, *Harvard Bull.*, No. 887  
Hurley J. R., Pols O. R., Tout C. A., 2000, *MNRAS*, 315, 543  
Iben I. Jr., Tutukov A. V., 1986, *ApJ*, 311, 753  
Iben I. Jr., Livio M., 1993, *PASP*, 105, 1373  
Iben I. Jr., Tutukov A. V., 1993, *ApJ*, 418, 343  
Kurucz, R. L., 1979, *ApJS*, 40, 1  
Lacy C. H., 1977, *ApJS*, 34, 479  
Leggett S. K., 1992, *ApJS*, 82, 351  
Maxted P. F. L., ODonoghue D., Morales-Rueda L., Napiwotzki R., Smalley B., 2007, *MNRAS*, 376, 919  
Morales J. C., Ribas I., Jordi C., 2008, *A&A*, 478, 507  
Mullan D. J., MacDonald J., 2001, *ApJ*, 559, 353  
O'Brien M. S., Bond H. E., Sion E. M., 2001, *ApJ*, 563, 971  
Paczynski B., 1976, in *IAU Symp. 73, Structure and Evolution of Close Binary Systems*, ed. P. Eggleton, S. Mitton, J. Whelan (Dordrecht: Reidel), 75  
Pollacco D. L., Bell S. A., 1993, *MNRAS*, 262, 377  
Pollacco D. L., Bell S. A., 1994, *MNRAS*, 267, 452  
Priyalnik D., Livio M., 1985, *MNRAS*, 216, 37  
Saffer R. A., Wade R. A., Liebert J., et al., 1993, *AJ*, 105, 1945  
Sarna M. J., Ziółkowski J., 1988, *AcA*, 38, 89  
Schönberner D., 1983, *ApJ*, 272, 708  
Sing D. K. et al., 2004, *AJ*, 127, 2936  
Tutukov A. V., Yungelson L. R., 1979, in *Mass loss and evolution of O-type stars*, ed. C. de Loore, P. S. Conti (Reidel, Dordrecht) 401  
Van Hamme W., 1993, *AJ*, 106, 2096  
Vennes S., Thorstensen J. R., Polomski E. F., 1999, *ApJ*, 523, 386  
Webbink R. F., 2007, in *Milone E. F., Leahy D. A., Hobill D.W., eds, Short Period Binary Stars*. Springer, Dordrecht, in press (arXiv:0704.0280)  
Wilson R. E., 1979, *ApJ*, 234, 1054  
Wilson R. E., 1990, *ApJ*, 356, 613  
Wilson R. E., Devinney E. J., 1971, *ApJ*, 166, 605  
Wilson R. E., Van Hamme W., 2003, *Documentation of Eclipsing Binary Computer Model*. Dept. Astron., Univ. Florida, Gainesville, FL, USA  
Wood J. H., Harmer S., Lockley J. J., 1999, *MNRAS*, 304, 335