

## Be BİLEŞENLİ ETKİLEŞEN ÇİFT SİSTEM R ARA

Hicran BAKIŞ<sup>1,3</sup>, Volkan BAKIŞ<sup>2,3</sup>, Osman DEMİRCAN<sup>2,3</sup>

*1-Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Terzioğlu Kampüsü, Çanakkale Meslek  
Yüksek Okulu, Teknik Programlar,*

*2-Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Terzioğlu Kampüsü, Fen Edebiyat  
Fakültesi, Fizik Bölümü,*

*3-Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Astrofizik Araştırma Merkezi ve Ulupınar  
Gözlemevi*

*17040, Çanakkale. Tel. 0286 2180018/1526*

*e-posta adresleri: bhicran@comu.edu.tr, bakisv@comu.edu.tr,  
demircan@comu.edu.tr*

### Özet

R Arae sisteminin literatürde yetersiz olan tayfsal verisi nedeniyle, 2006 yılı bahar ve yaz sezonunda Yeni Zellanda Canterbury Üniversitesi Mt. John Gözlemevinde bulunan 1-m McLennan teleskobuna bağlı HERCULES echelle tayfçekeri ile yüksek çözünürlüklü tayfları elde edilmiş ve ilk kez tayfında ikinci bileşene ait çizgiler belirlenmiştir. Sistemin ışık ve dikine hız eğrilerinin çözümünden bileşenlerin kütleleri ve yarıçapları bulunmuştur. Sistemin var olan minimum zamanları ve yeni elde edilen minimum zamanı kullanılarak elde edilen (O-C) verilerinin analizinden ikinci bileşenden birinci bileşene korunumlu madde aktarım miktarı belirlenmiştir. Bulunan sonuçların yavaş kütle aktarımında olan bu tür sistemler için verilen ortalama değerden fazla olduğu görülmüştür. Bu durum aynı zamanda R Ara'da görülen kuvvetli salmaların varlığını da desteklemektedir. R Ara'nın elde edilen tayflarında özellikle  $H_{\alpha}$ 'da olmak üzere He I ve bazı metal çizgilerinde de baskın salmalar gözlenmektedir. Bu salma yapılarını incelemek amacıyla fark tayfları elde edilerek bu yapıların çiftin yörünge dönemi ile ilişkisi incelenmiştir.

*Anahtar kelimeler: Etkileşen Çift Yıldızlar, Be Yıldızları, Salma Yapıları, Tayfbilim, Yıldızların Mutlak Parametreleri*

## Abstract

Due to insufficient spectroscopic data of R Arae in literature, its high resolution spectra were obtained with 1-m McLennan telescope and HERCULES echelle spectrograph at Mt John Observatory of University of Canterbury during the 2006 spring and summer seasons and the secondary component was identified in the spectra for the first time. From the solution of light and radial velocity curves, masses and radii were determined for the primary and secondary component. Conservative mass transfer rate from the secondary to the more massive primary was determined from the O-C data constructed by using newly obtained and old times of minima. The mass transfer rate of R Ara was found rather high compared to the average mass transfer rate determined for this type of binary stars. This high mass transfer rate support the strong emission features in spectra. The emission features are visible especially in Balmer and Helium lines and even in some metallic lines. To investigate these emission features, difference profiles of  $H_{\alpha}$  lines were constructed and the relationship of the emission with the orbital motion was studied.

*Keywords: Interacting Binary Stars, Be Stars, Emission Structures, Spectroscopy, Absolute Parameters of Stars*

### 1. Giriş

R Arae (HD 149730A, HJ4866A) görel olarak parlak ( $7^m$ ) örten bir çift sistemdir. Yıldızın ilk gözlemi John Herchel (1833) tarafından yapılarak, sistemin aralarındaki ayrıklığı  $4''$  olan bir görsel çift sistemin üyesi olduğu bildirildi. Forbes ve diğ. (1988, 1989) R Ara sistemini U, B ve V filtrelerinde gözleyerek yıldızın gözlendiği çoğu gecede özellikle tutulmalar dışında açıkça görülen değişimler gösterdiğini ve farklı gecelerde elde edilen ışık eğrisinin ortalama seviyesinde saçılmanın olduğunu belirledi. Yapılan çözümlerindeki en büyük sorun bu yıldızın çok yakınında görsel çiftinin olmasıdır. Daha sonra Banks (1990), R Ara sistemini leke modelini kullanarak çözmüştür. Sonuç olarak R Ara'nın ikinci bileşeninin Roche şişimini

doldurmuş olduğunu ve kütle aktarmakta olduğunu belirtmiştir. Daha sonra, Nield (1991) elde ettiği ışık eğrilerini kullanarak sistemi yeniden çözülmüştür. Işık eğrisi analizlerinde üçüncü cismin ışık katkısını da gözönüne almıştır, çözümleri sonucunda, sistemin B9V tayf türünden birinci bileşen ile ön-tür F tayf türünden ikinci bileşenden oluştuğunu belirlemiştir. Çözümleri sistemin yarı-ayrık (klasik Algol) bir sistem olamayacağını göstermektedir.

R Arae örten çift sisteminin tayfları, Sahade (1952) tarafından elde edilmiştir. Yıldızın elde edilen tayflarından ikinci bileşenin tayf çizgisi elde edilememiştir. Yıldızın ışık değişim dönemi boyunca tayfsal değişimler sergilediğini ve çevrimden çevrime de değişimlere sahip olduğunu bildirmiştir. Sahade aynı makalesinde Gaposchkin'in (1953) fotometrik çalışmasını kendi elde ettiği tayfsal çalışma ile birleştirerek sistemin parametrelerini  $f(m) = 0.1M_{\odot}$ ,  $m_1 = 4M_{\odot}$  ve  $K_1 = 60$  km/s şeklinde belirlemiş ve eğer birinci yıldız B9 tayf türünden ve kütlesi  $4M_{\odot}$  olarak alınırsa ikinci yıldız kütlesi  $1,4M_{\odot}$  civarında olan F türü bir yıldız olmalıdır sonucuna varmıştır.

R Ara üzerine daha sonraki bir çalışma Kondo ve diğ. (1981) ve McCluskey ve Kondo (1983, 1984) tarafından uydu gözlemlerine dayanarak yapılmıştır. IUE uydusu tarafından elde edilen veriler R Ara'nın etrafındaki madde hakkında ipuçları sunmaktadır. Ayrıca, yıldızın tayflarında gözlenen SiIV ve MgII çizgilerindeki kısa dalgaboylarına kaymış soğurma bileşeni  $-500$  km/s gibi çok büyük hızlara sahiptir. Tüm bunlar aslında R Ara'nın oldukça karmaşık bir evrim aşamasından geçtiğinin göstergesi olmalıdır. R Ara aynı zamanda EINSTEIN uydusu tarafından da gözlenmiştir. Bu dalgaboyunda gözlemler tüm evre aralığını kapsamadığından dolayı yıldızın özel bir X-ışın kaynağı olduğu ile ilişkili sağlam bir sonuç bulunmamaktadır.

Yıldızın literatürde yapılan çalışmalarının sonucunda, R Arae hakkında daha etkili fiziksel yorumlar yapabilmek için yıldızın yeni tayfsal gözlemi yapılarak ikinci bileşene ait çizgiler araştırılabilir ve yeniden dikine hız eğrisi elde edilerek bu egrideki bozulmalar ve/veya çizgilerdeki değişimler hakkında yeni bilgilere ulaşılabilir.

## 2. Gözlemler ve İndirgeme

R Ara görel olarak ( $\sim 7^m$ ) parlak bir sistem olmasına rağmen literatürde az çalışılmıştır. Özellikle tayfsal olarak detaylı bir

çalışması 1952 yılındaki makaleye dayanmaktadır. Bu nedenle yıldızın yeni ve daha yüksek çözünürlüklü tayflarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla R Ara sisteminin 2006 yılında, Nisan ve Ağustos aylarında tayfsal gözlemleri yapılmıştır. R Ara sisteminin tayfları Yeni Zelanda, Mt John Üniversite Gözlemevinde (MJUG) bulunan 1-m çaplı McLellan teleskopuna bağlı HERCULES tayfçekeri ile alınmıştır. Tayfçeker 380nm ile 880 nm arasında sürekli dalgaboyu aralığını kapsamaktadır. 41000 olan orta büyüklükteki çözümleme gücüne sahip, yarık içermeyen 100  $\mu\text{m}$  kalınlığındaki birinci fiber R Ara'nın gözlemleri için seçilmiştir. Gözlemler iki farklı gözlem sezonunda yapılmıştır. İlk gözlem döneminde toplam 7 gecede 13 adet tayf elde edilmiştir. Bu dönemde yapılan gözlemlerde saniyelik ortalama 1200s poz süresi ile 500 nm'de ortalama S/G oranı 120 elde edilmiştir. İkinci gözlem döneminde 16 gecede 29 adet tayf elde edilmiştir. Bu dönemde yapılan gözlemlerde saniyelik ortalama 1400 s poz süresi ile 500 nm'de ortalama S/G oranı 100 elde edilmiştir. İki farklı gözlem döneminde R Ara'ya ait toplam 42 adet tayf alınmıştır. Tayflar Canterbury Üniversitesi, Fizik ve Astronomi bölümünde geliştirilen Hercules İndirgeme (HRSP) programı ile indirgenmiştir. İndirgeme basamakları echelle tayflar için yapılan standart basamakları içermektedir (Skuljan, 2004).

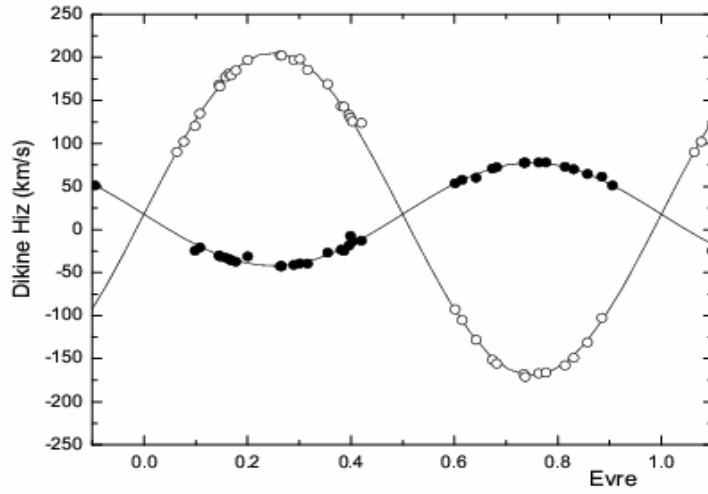
### 3. Dikine Hızların Ölçümü ve Yörünge Çözümü

Dikine hızların ölçümü, dalgaboyu kalibrasyonu ve normalizasyonu yapılan tayflardan iki farklı yöntem kullanılarak, çapraz eşleşme (cross-correlation) ve Fourier ayıklama (Fourier disentangling, KOREL) tekniği ile yapılmıştır. Dikine hızlar ilk olarak, IRAF paketi içinde yer alan FXCOR programı kullanılarak Çapraz eşleme yöntemi ile okunmuştur. Yıldızın elde edilen tayfları incelendiğinde literatürde daha önce belirlenememiş olan ikinci bileşenin çizgileri elde edilmiştir. Çapraz eşleme yöntemi ile elde edilen ikinci bileşene ait dikine hızlara en küçük kareler yöntemi ile teorik dikine hızların fit edilmesinden sistemin tayfsal yörünge çözümleri elde edilmiştir. Çözümler sırasında yörünge dönemi Kreiner (2001) tarafından verilen dönemde ( $P=4.4251133$  gün), basıklık ( $e=0$ ) ve enberinin boylamı ( $w=90^\circ$ ) ise çember yörünge varsayımı altında sabit tutulmuş, hız yarı-genliği  $K_2$  ve tutulum zamanı  $T_0$ , en küçük kareler yöntemi ile yapılan çözümde serbest bırakılmışlardır. Sistemin

kütle merkezinin hızı,  $V_\gamma$ , 93. tayf dizisindeki Fe I 6102.16 Å ve 92. tayf dizisindeki Ca I 6169.56 Å çizgisine gauss fiti yapılarak belirlenmiştir. İkinci yöntem olan KOREL programında, çapraz eşleme yönteminde elde edilen yörünge parametreleri girdi olarak kullanılmıştır. KOREL çözümleri süresince çember yörünge varsayımı altında basıklık, enberinin boylamı parametresi ile yörünge dönemi P sabit tutulmuş, diğer yörünge parametreleri tutulum zamanı  $T_0$ , dikine hız yarı genlikleri  $K_1$  ve  $K_2$  analize serbest parametre olarak sokulmuşlardır. KOREL programı ve kullanılan yöntem, çizgileri sığ ve/veya blend olmuş tayf çizgilerinin dikine hız ölçümü ve yörünge parametrelerinin belirlenmesinde oldukça kullanışlı ve önemlidir. Sonuç olarak, her iki sezonda farklı tayf dizilerinin ayrı ayrı analizinden elde edilen dikine hız değerlerinin ortalaması alınarak elde edilmiş dikine hız eğrisi ve yapılan teorik fit Şekil 1’de verilmektedir. KOREL programı çözümde basıklık ve yansımaya etkilerini göz önüne almadığı için tutulmalar civarındaki noktalar çözümde dikkate alınmamıştır. Tablo 1’de KOREL ile yörünge çözümü sonucunda elde edilen tayfsal yörünge parametreleri ve bu parametrelerden hesaplanan kütleler ve bileşenler arası uzaklık da verilmektedir. Karşılaştırma amacıyla daha önce Sahade (1952) tarafından bulunan sonuçlar da tablo 1’de eklenmiştir.

Tablo 1. R Ara sisteminin elde edilen tayfsal yörünge parametreleri ile Sahade (1952) tarafından verilen değerlerin karşılaştırılması.

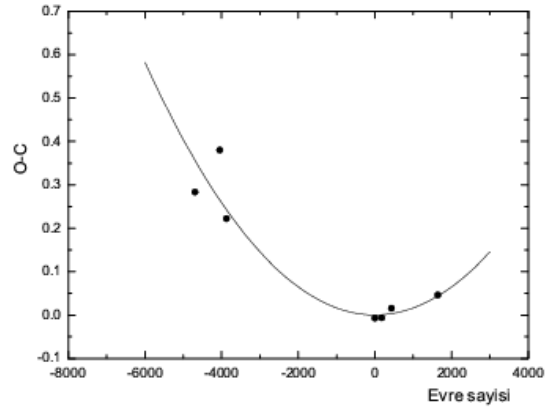
Parametre	Değer	Sahade (1952)
P (gün)	4.4251133	4.42509
$T_0$ (HJD)	$2452501.7515 \pm 0.0062$	2429433.348
e	0	~0.3
w (°)	90	.....
$V_\gamma$ (km/s)	$17.7 \pm 3.6$	
$K_1$ (km/s)	$60.1 \pm 0.6$	60
$K_2$ (km/s)	$187.9 \pm 0.7$	.....
q ( $K_1/K_2$ )	$0.319 \pm 0.005$	f(m)=0.10 $M_\odot$ m <sub>1</sub> = 4 $M_\odot$ (B9 tayf türü ise) m <sub>2</sub> = 1.4 $M_\odot$ ve q=0.35
m <sub>1</sub> sin <sup>3</sup> i ( $M_\odot$ )	$5.30 \pm 0.08$	
m <sub>2</sub> sin <sup>3</sup> i ( $M_\odot$ )	$1.69 \pm 0.04$	
a <sub>1</sub> sin i ( $R_\odot$ )	$21.68 \pm 0.12$	a <sub>1</sub> sin i = $3.6 \times 10^6$ km/s



**Şekil 1.** Belirlenen dikine hızlar ve çözüm sonucunda elde edilen en iyi fit. Dolu daireler birinci bileşen, içi boş daireler ikinci bileşenin dikine hızlarını göstermektedir.

### 1. Sistemin O-C Analizi

Sistemin literatürde çok fazla fotometrik veya minimum zamanı gözlemi bulunmamaktadır. R Ara'nın yeni olarak sadece bir tane fotometrik minimum zamanı elde edilmiştir. Sistemin toplam 7 tane olan minimum zamanları 1942 ile 2006 yılları arasında 60 yıllık bir zamanı kapsamaktadır. (O-C) diyagramı, Nield (1991) tarafından verilen,  $\text{Min I} = \text{HJD } 24\,46585,1597 + 4,425132 \times E$ , değerlerine göre hesaplanmıştır. Gözlenen tüm minimum zamanları



**Şekil 2.** R Ara sistemine ait (O-C) diyagramı.

Şekilden, sistemin yörünge değişiminin kolları yukarı doğru olan parabolik bir değişim ile çok iyi temsil edildiği görülmektedir. Bu tür bir dönem değişimi küçük kütleli bileşenden daha büyük kütleli olana madde aktarımı ile ilişkili açıklanmaktadır. Dönem artışının doğrusal olduğu ve korunumlu kütle aktarımı olduğu varsayılırsa aktarılan kütle miktarı  $5,23 \times 10^{-7} M_{\odot}/\text{yıl}$  olarak hesaplanır. Kütleler için  $M_1 \sin^3 i = 5,296 \pm 0,0831$  ve  $M_2 \sin^3 i = 1,692 \pm 0,044$  (bu çalışma)

değerleri kullanılmıştır. Eğiklik açısı olarak ışık eğrisi çözümlerinden belirlediğimiz yaklaşık  $80^\circ$  alınmıştır. Ayrıca, daha önce Nield (1991) ikinci bileşenden birinci bileşene olan kütle aktarım miktarını  $1,5 \times 10^{-7} M_{\odot}/\text{yıl}$  olarak belirlemiştir. Bulunan bu sonuçlar yavaş kütle aktarımında olan bu tür sistemler için verilen  $\Delta M \sim 10^{-11} - 10^{-7} M_{\odot}/\text{yıl}$  (Richards ve Albright, 1999) değer aralığındaki kütle aktarımıyla mukayese edildiğinde oldukça fazla olduğu görülmektedir. Bu durum aynı zamanda R Ara'da görülen salmaların varlığını da desteklemektedir.

#### 4. Dönme Hızları ve Eş-Dönme

Yıldızların dönme hızlarının belirlenmesi amacıyla Slettebak ve diğ. (1975) tarafından verilen dönme hızı standart yıldızları tablolarından seçilen 10 tane yıldız bu sezonda gözlenmiştir. Yıldızların Mg II çizgilerinin ölçülen FWHM değerleri aralarındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla tablolarda verilen değerler ile karşılaştırıldı. Belirlenen kalibrasyon eşitliği kullanılarak birinci bileşenin izdüşüm dönme hızı  $223 \pm 30$  km/s olarak belirlenmiştir. Bu oldukça yaklaşık bir sonuçtur. Birinci bileşenin dönme hızının belirlenmesinde ikinci yöntem olarak, bileşenin model atmosfer ve sentetik tayfı yıldızın gözlenen tayfı ile karşılaştırmak amacıyla hesaplanmıştır. Model atmosferler ATLAS9 kodu (Kurucz, 1993) kullanılarak hesaplanmıştır ve sentetik tayflar birinci ve ikinci bileşen için SYNTHES kodu (Kurucz, 1993) ile Linux'de oluşturulmuştur. Sonuç dönme hızı,  $(v_{\text{dönme}} \sin i)_1 = 200 \pm 5$  km/s şeklinde belirlenmiştir. İkinci bileşenin senkronize döndüğü varsayılarak izdüşüm dönme hızı  $(v_{\text{dönme}} \sin i)_2 = 72 \pm 3$  km/s olarak hesaplanmıştır. Buradan da görüldüğü gibi birinci bileşen oldukça hızlı dönmektedir. Bu birinci bileşen üzerine akan maddenin varlığının göstergesidir.

#### 5. Fotometrik Analiz

Sistemin tayfsal çözümlerinden ikinci bileşenin belirlenmesi sonucunda sistem literatürde bulunan ışık eğrileri ile yeniden çözülmüştür. R Ara sisteminin çözümünde ışık eğrisi olarak Hipparcos, ASAS (Pojmanski, 2002) ve Nield (1991) tarafından elde edilen ışık eğrileri ve bu çalışmada elde edilen dikine hız eğrisi kullanılmıştır. Kıvılcıktan arındırılmış renkleri ve yıldızlararası

soğurmayı belirlemek için Johnson ve Morgan (1953) tarafından verilen Q-yöntemi kullanıldı. Nield (1991) tarafından verilen (U-B) ve (B-V) renk değerleri kullanılarak, Q-parametresi hesaplandı. R Ara sistemi için kızıllaşmadan arındırılmış renk indislerinden sıcaklık, Budding ve Demircan (2007) tarafından verilen anakol yıldızlarının sıcaklıkları ile renkleri arasındaki istatistiksel tablodan yararlanılarak belirlendi. Buna göre belirlenen sıcaklık Nield (1991) tarafından verilen sıcaklık değeri olan  $12400 \pm 300$  K değerine karşılık gelmektedir.

Sistemin ışık eğrisi çözümünde Wilson-Devinney (Wilson ve Devinney, 1971, Wilson, 1994) yazılımı, yarı-ayrık konfigürasyon (MODE5) için uygulanmıştır. Kullanılan ışık eğrileri, Hipparcos, ASAS ve Nield (1991), için uygun  $T_0$  ve P değerleri seçilerek evrelendirildikten sonra ayrı olarak çözülmüşlerdir. Sistemde üçüncü bileşene ait ışık katkısı Hipparcos astrometri çözümlerinden V bandında 0.38 olarak bulunmuştur. Çözümün her bir adımında logaritmik kenar kararma katsayısı kullanılmıştır. Balometrik ve  $H_p$ -bandı (505 nm) ve V-bandı (550 nm) kenar kararma katsayıları van Hamme (1993) tablolarından alınmıştır. Birinci bileşen için balometrik albedo,  $A_1$ , radyatif zarflar için uygun olan 1 değeri ve ikinci bileşen için ise,  $A_2$ , konvektif zarflar için uygun olan 0.5 değeri alınmıştır. Çözümde dikine hız eğrisinden elde edilen parametreler sabit tutulduğundan eş-zamanlı çözüm yapılmamıştır. Eğer ışık eğrisine uyan en iyi fit göz önüne alınacak olursa ikinci bileşenin sıcaklığı  $7000 \pm 350$  K, çiftin yörüngesinin gökyüzü düzlemine olan eğikliği  $i$ ,  $80^\circ$  olmalıdır. Gözlem verilerine yapılan teorik ışık eğrileri Şekil 4'de gösterilmektedir.

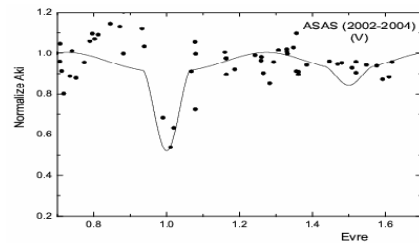
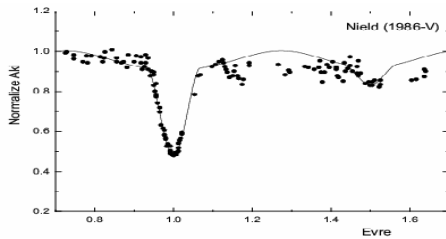
Nield ve ASAS ile Hipparcos ışık eğrilerinin çözümlerinin sonuçları, bileşenlerin kütlelerini sırasıyla,  $M_1=5.40 M_\odot$  ve  $M_2=1.72 M_\odot$  ve  $M_1=5.55 M_\odot$  ve  $M_2=1.77 M_\odot$  olarak vermektedir. Çiftin bileşenlerinin merkezleri arasındaki uzaklık yine sırasıyla  $a=21.8 R_\odot$  ve  $a=22.0 R_\odot$ 'dir. Bileşenlerin kütleleri birinci ve ikinci bileşen için sırasıyla B4 tayf türünden anakol ve A9.5 veya F0 tayf türünden dev yıldızlarına uygundur. Çiftin bileşenlerinin sıcaklıklarına uygun balometrik düzeltme değerleri Budding ve Demircan (2007)'den alınmıştır.  $L_1$  ve  $L_2$  mutlak ışıtmaları ve uzaklık modülünü kullanarak R Ara sistemi için fotometrik uzaklık  $140 \pm 20$  pc olarak belirlenmiştir. Bu uzaklık Hipparcos kataloğunda (ESA, 1997) verilen

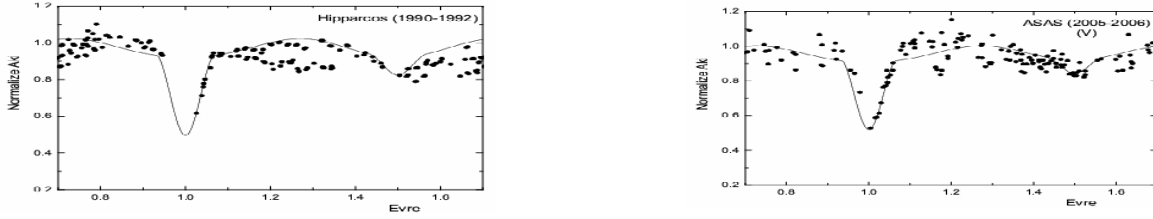


$80.4 \pm 11.3$  pc trigonometrik paralaks değeriyle karşılaştırıldığında oldukça büyük görülmektedir.

## 6. Yıldızı Saran Madde

Etkileşen çift sistemler etrafındaki yıldızı saran maddeyi araştırmanın en etkin yolu yıldızların tayflarındaki değişimleri ve/veya salma yapılarını çalışmaktır. R Ara sisteminde Balmer serisinin ilk çizgileri ve bazı Helyum çizgileri salma bileşenindeki değişimler nedeniyle hem şekil hem de çizgi şiddeti olarak oldukça değişkendir. Bu tür salma gösteren sistemlerdeki çizgilerin hızlarının ve eşdeğer genişliklerinin değişimlerinin yörünge dönemi boyunca değişimini incelemek çizgi kesitlerindeki hem fotosferin hem de yıldızı saran yapının katkısının birlikteliği nedeniyle oldukça zordur. Eğer gözlenen çizgi kesitlerinden fotosferin katkısını arındırabilirsek bu durumda yalnızca yıldızın etrafındaki maddeden kaynaklanan değişimlere ait bilgiye ulaşabiliriz. Bu amaçla gözlenen tayftaki çizgi kesitleri fark çizgi kesitlerine dönüştürülmektedir. Bunu yapmak için öncelikle sistemin bileşenlerine ait çeşitli atmosfer modelleriyle sentetik tayfi oluşturulmaktadır. Elde edilen her bir bileşene ait sentetik tayflar, bileşenlerin ışıma katkıları oranında ele alınıp her iki bileşenin toplam sentetik tayfi elde edilmektedir. Ancak bunu yaparken yıldızların yörünge boyunca hareketleri nedeniyle tayf çizgilerinde sahip olacakları dalgaboyu kaymaları da göz önüne alınmalıdır.



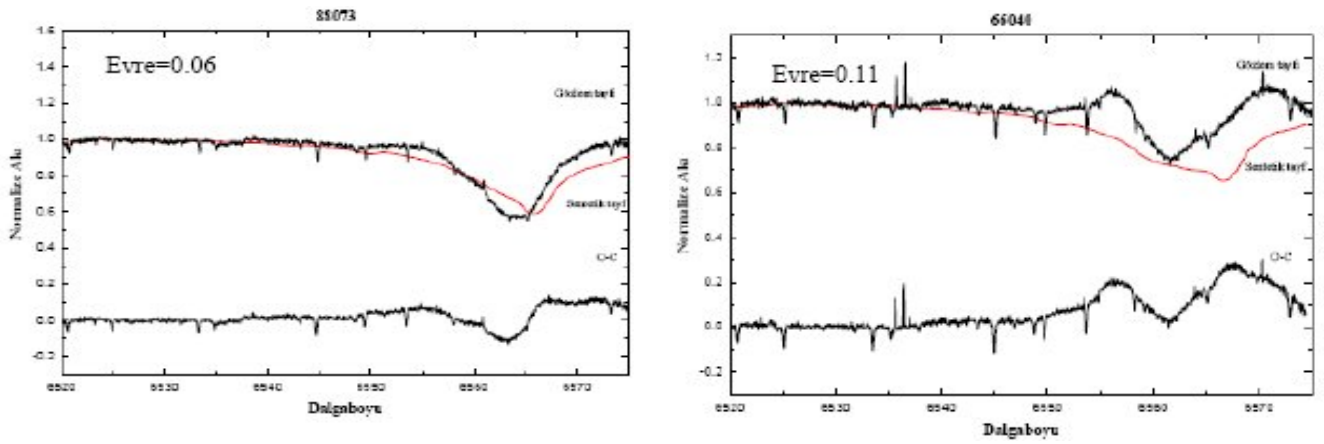


**Şekil 4.** R Ara sisteminin gözlem verilerine yapılan teorik ışık eğrileri.

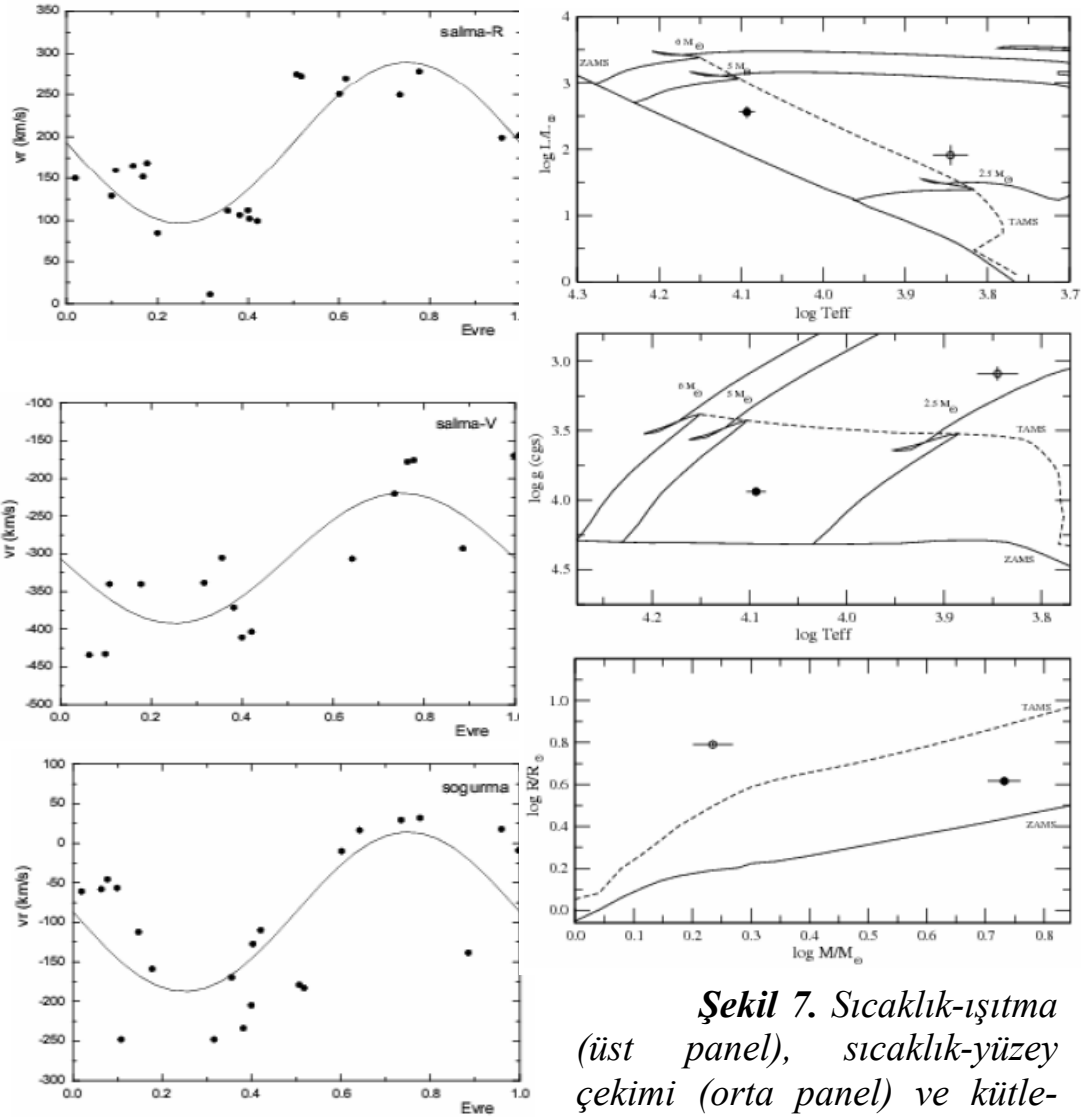
R Ara'nın sentetik tayflarının oluşturulmasında birinci bileşen ve ikinci bileşen için belirlenen atmosfer ve dönme parametreleri kullanılmıştır. Birinci bileşen için sıcaklık renklerden ve log g ışık eğrisi analizinden belirlenmiştir, dönme hızı  $v \sin i$  ise 127. tayf dizisindeki He I ve Mg II çizgisine model atmosfer fiti yapılarak elde edilmiştir. İkinci bileşen için ise, sıcaklık ve log g ışık eğrisi analizinden, dönme hızı  $v \sin i$  ise yıldızın senkronize dönmesine uygun olarak seçilmiştir. Bu parametreler kullanılarak sentetik tayflar oluşturulmuş ve fark tayfları elde edilmiştir. Şekil 5'de örnek birkaç evrede yıldızın  $H_{\alpha}$  bölgesindeki gözlem tayfi (üstte), yörünge evresine göre kaydırılmış bileşenlerin toplam sentetik tayfi (ortada) ve fark tayfi (altta) verilmektedir.

Yıldızın  $H_{\alpha}$  fark tayfları incelendiğinde, salmaların genellikle çift tepeli bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Bazen salmalar tek tepeli yapıya da dönmektedir (0,20-0,30 evreler arası). Bu durum yıldızın  $r_1$ -q diyagramında incelendiğinde, en değişken yapıya sahip geçici diskleri olan yıldızlar bölgesine çok yakın düşmesinden de beklenmektedir. Bu tür yıldızlardaki ek salma ve soğurmanın iki kaynağı olabilir. Soğurma, kütle aktarımı sonucunda belirli bölgelerde oluşan yığılmalardan kaynaklanabilir. Ek salmalar ise, kütle aktarımı ve toplanmasının yanı sıra soğuk bileşenin manyetik etkinliğinden kaynaklanabilmektedir. Bu nedenle hangi yapının nereden kaynaklandığının belirlenmesi önemli olmaktadır. Ancak, karmaşık sistemlerde hangi çizginin hangi bileşenden kaynaklandığını hemen söylemek kolay değildir. Bunun için en iyi yöntem ek salma veya soğurmaların merkezi dalgaboylarına karşılık gelen dikine hızlarının belirlenmesidir.  $H_{\alpha}$  fark tayflarında çift tepeli salmaların daha uzun

kanadındaki kısmına R-Red ve daha kısadalgaboylu kanadına V-Violet denilmektedir. Şekil 6'da bu salma yapıları ve soğurmanın ölçülen dikine hızlarının yörünge dönemiyle değişimi ve bunlara en iyi uyan fitler verilmektedir. Bu durumda, dikine hız ölçümü hangi bileşenin dikine hız eğrisi ile uyuyorsa çizginin ilgili bileşenden kaynaklandığı söylenir. Şekilde,  $H_{\alpha}$  fark tayflarındaki hem salmaların hem de soğurmanın dikine hızları birinci bileşenin dikine hız değişimini izlemektedir. Yani, bu yapılar, tamamıyla birinci bileşenin etrafındaki disk ve yığılma yapılarından kaynaklanmaktadır.



**Şekil 5.** R Ara'nın  $H_{\alpha}$  bölgesindeki gözlem tayfı (üstte), yörünge evresine göre kaydırılmış bileşenlerin toplam sentetik tayfı (ortada) ve fark tayfı (altta) evreye göre verilmektedir.



**Şekil 6.**  $H_{\alpha}$  tayflarında görülen eksalmanın V ve R kanatlarının ve soğurmanın yörünge evresi ile değişimi. Düz çizgi ölçüm noktalarına yapılan teorik fiti göstermektedir.

**Şekil 7.** Sıcaklık-ışıtma (üst panel), sıcaklık-yüzey çekimi (orta panel) ve kütle-yarıçap (alt panel) grafiklerinde R Ara yıldızının bileşenlerinin yerleri ZAMS ve TAMS eğrilerine göre verilmektedir. Dolu daireler birinci bileşeni boş daireler ikinci bileşeni göstermektedir.

## 7. Sonuç ve Tartışma

Elde edilen dikine hız eğrisi literatürdeki ışık eğrileriyle birlikte çözülerek yıldızın mutlak parametreleri belirlenmiş ve en son evrim modelleri ile gözlemleri karşılaştırarak bileşenlerin evrim basamaklarını belirlenmiştir. R Ara yıldızının bileşenlerinin sıcaklık-ışıtma, sıcaklık-yüzey çekimi ve kütle-yarıçap grafiklerinde yerleri Şekil 7’de verilmektedir. Şekil 7’de her bir panelde, ZAMS (Sıfır yaş anakolu) ve TAMS (anakoldan ayrılma noktaları) eğrileri Girardi ve diğ. (2000) tarafından alınmıştır. R Ara, hızlı kütle alış-verişinin bittiği ve kütle oranının tersine döndüğü evrede bulunmaktadır. R Ara sisteminin az olan minimum zamanlarının uzun bir zaman aralığına yayılmış olması sistemden kütle aktarım miktarının belirlenmesine olanak sağlamıştır. Sistemin (O-C) analizinden kütle aktarım miktarı  $5,23 \times 10^{-7} M_{\odot}/\text{yıl}$  olarak hesaplanmaktadır. Bu sonuç yavaş kütle aktarımında olan bu tür sistemler için verilen  $\Delta M \sim 10^{-11} - 10^{-7} M_{\odot}/\text{yıl}$  (Richards ve Albright, 1999) değer aralığındaki kütle aktarımıyla mukayese edildiğinde oldukça fazla olduğu görülmektedir. Bu durum aynı zamanda R Ara’da görülen salmaların varlığını da desteklemektedir.

## Kaynaklar

- Banks T., 1990, “*Light Curves for R Arae*”, Information Bulletin on Variable Stars, 3455.
- Budding E. ve Demircan O., 2007, “*Introduction to Astronomical Photometry* (2nd ed.)”, Cambridge University Press., 434 p.
- ESA, 1997, The Hipparcos Catalogue, ESA SP-1200.
- Forbes M., Budding E. ve Priestley J., 1988, “*Photometric Fluctuations in the Light Curves of R Arae*”, Information Bulletin on Variable Stars, 3278.
- Forbes M. C., 1989, “*Unpublished M.Sc. Thesis*”, Victoria University of Wellington.
- Gaposchkin S., 1953, “The eclipsing variables”, Annals of Harvard College Observatory, 113, 67-149.
- Girardi L., Bressan A., Bertelli G. ve Chiosi C., 2000, Astronomy and Astrophysics Supplement Series, 141, 371
- Herchel J. S., 1833, “*Remarks on his fifth catalogue of double stars*”, Monthly Notices Roy. Astron. Soc., 2, 137.
- Johnson H. L. ve Morgan W. W., 1953, “*Fundamental stellar photometry for standards of spectral type on the revised system of the Yerkes spectral atlas*”, Astrophys. J., 117, 313.

Kreiner J. M., Kim C. H. ve Nha I. S., 2001, “*An Atlas of O–C Diagrams of Eclipsing Binary Stars*”, Wydawnictwo Naukowe Akademii Pedagogicznej, Krakow.

Kurucz R. L., 1993, CD-ROM 13, 18 <http://kurucz.harvard.edu>.

Kondo Y., McCluskey G. E. ve Wu C.-C., 1981, “*Five-color band ultraviolet photometry of fourteen close binaries*”, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 47, 333-338.

McCluskey G. E. ve Kondo Y., 1983, “*International Ultraviolet Explorer observations of the peculiar variable spectrum of the eclipsing binary R Arae*”, *Astrophysical Journal*, 266, 255-260.

McCluskey G. E. ve Kondo Y., 1984, “*Observations of eight close binaries with the Einstein Observatory*”, *Astronomical Society of the Pacific, Publications*, 96, 817-820.

Nield K. M., 1991, “*Observations and analysis of the southern binary R Arae*”, *Astrophysics and Space Science*, 180, 233-252.

Pojmanski G., 2002, “*The All Sky Automated Survey. Catalog of Variable Stars. I. 0h - 6h Quarter of the Southern Hemisphere*”, *Acta Astronomica*, 52, 397-427.

Richards M. T. ve Albright G. E., 1999, “*Morphologies of H $\alpha$  Accretion Regions in Algol Binaries*”, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 123, 537-626.

Sahade J., 1952, “*The Spectrum of the Eclipsing Variable R Arae*”, *Astrophysical Journal*, 116, 27-34.

Skuljan J., 2004, “*HRSP - A dedicated echelle reduction software package for Hercules.*”, *ASP Conference Proceedings*, 310, 575.

Slettebak A., Collins G. W. II., Parkinson T. D., Boyce P. B. ve White N. M., 1975, “*A system of standard stars for rotational velocity determinations*”, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 29, 137-159.

van Hamme W., 1993, “*New limb-darkening coefficients for modeling binary star light curves*”, *Astronomical Journal*, 106, 2096-2117.

Wilson R. E. ve Devinney E. J., 1971, “*Realization of Accurate Close-Binary Light Curves: Application to MR “Cygni”*”, *Astrophysical Journal*, 166, 605.

Wilson R. E., 1994, “*Binary-star light curve models*”, *Astronomical Society of the Pacific*, 106, 921-941.