

HV Aquaris Çift Yıldızının Fotometrik Analizi

B. ALBAYRAK¹, H.V. ŞENAVCI, S.O. SEIAM, ASART²

Özet

W UMa türü bir örten çift yıldız olan HV Aqr, 2006 gözlem sezonunda Ankara Üniversitesi Gözlemevi'nde 30 cm çaplı Maksutov-Cassegrain teleskobuyla B ve V bandlarında 4 gece gözlenmiş ve sistemin ışık ve renk eğrileri elde edilmiştir. HV Aqr'nin her iki ışık eğrisi, güncel tayfsal kütle oranı dikkate alınarak Wilson-Devinney analiz programıyla modellenmiştir. Analiz sonuçları HV Aqr'nin düşük kütle oranına sahip tipik bir A-türü W UMa örten çift yıldızı olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Yakın Çift Yıldızlar, Yıldızların Fotometrik Analizi, Yıldızların Mutlak Parametreleri, HV Aqr

1. Giriş:

HV Aqr (BD-03 5183, PPM 205095; $V_{\max}=10^m.04$)'nın bir değişen yıldız olduğu ilk kez Hutton (1992) tarafından belirlendi. Değişimin türü ilk kez Schirmer & Geyer (1992) tarafından irdelenerek $E(B-V) = 0^m.7$ değerinden hareketle sistemin tayf türünün G5 olduğu ileri sürüldü. Daha detaylı bir çalışma Robb (1992) tarafından yapıldı. Robb (1992) sistemin V ve R bandlarında elde ettiği ışık eğrilerini LIGHT ışık eğrisi analiz programıyla (Hill & Hutchings 1970) analiz ederek sisteme ait fiziksel ve geometrik parametreleri belirledi. Bununla birlikte belirlediği renk ölçeğinden sistemin tayf türünün G0'dan daha geç olduğunu ileri sürdü. Sisteme ait bir diğer fotometrik çalışma Molik & Wolf (2000) tarafından yapıldı. Bu araştırmacılar elde ettikleri R bandı ışık eğrisini Binary Maker (Bradstreet 1993) programında modelleyerek sisteme ilişkin fiziksel ve geometrik parametreleri belirlediler ve modelde elde ettikleri sıcaklık değerlerinin G5 tayf türüyle uyumlu olduğunu belirt-

¹ Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü 06100, Tandoğan, Ankara
e-mail:albayrak@astro1.science.ankara.edu.tr

²ASART – Ankara Üniversitesi Astronomi Araştırma Topluluğu

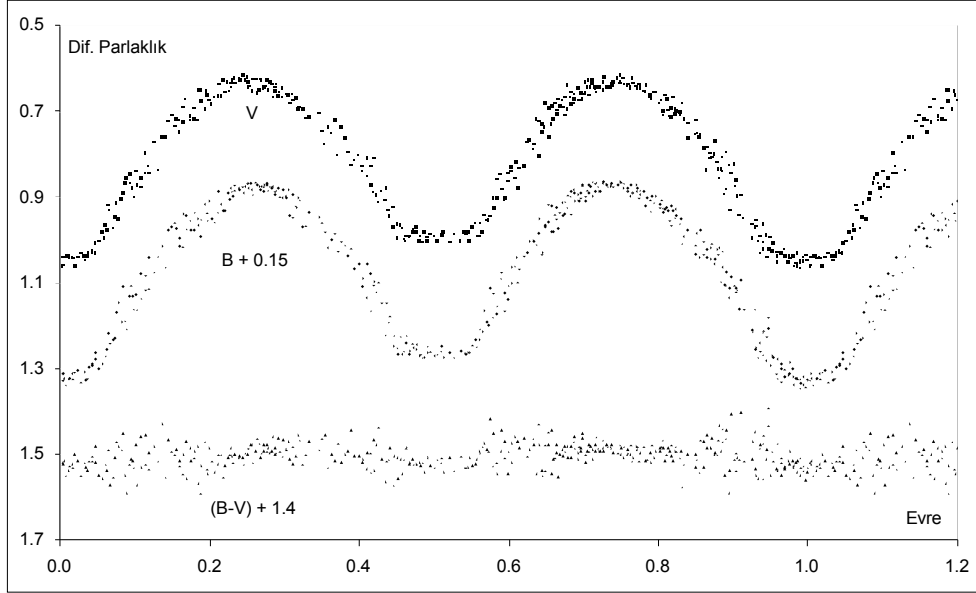
tiler. Sisteme ilişkin ilk tayfsal çalışma Rucinski vd. (2000) tarafından yapıldı. Rucinski vd. (2000) sistemin tayf türünü F5 V ve tayfsal kütle oranını $q_{sp} = 0.145 \pm 0.05$ olarak belirleyerek sistemin gösterdiği tam tutulma ve sıg minimumlardan sistemin tipik bir A-türü W UMa olduğunu ileri sürdü. Bu çalışmanın amacı, HV Aqr'yı güncel kütle oranı yardımıyla yeni fotometrik gözlemler ışığında eş zamanlı olarak inceleyerek sistemin fiziksel parametrelerini daha duyarlı olarak belirleyebilmektir.

2. Gözlemler:

HV Aqr çift yıldız sistemi, Ankara Üniversitesi Gözlemevi'nde 25 - 28 Temmuz 2006 tarihlerinde fotometrik olarak gözlemlendi. Gözlemler 30 cm çaplı Maksutov-Cassegrain teleskobu ve ona bağlı SSP5-A fotometre başlığı ile yapıldı. Johnson standart sistemine yakın BV bandlarında yapılan gözlemlerden "değişen-mukayese" farkları olarak her bir bandda 455 nokta elde edildi. Gözlemlerde mukayese ve denet yıldızı olarak sırasıyla BD-03° 5182 ve BD-03° 5178 kullanıldı. Gözlemler süresince mukayese ve denet yıldızlarında herhangi bir ışık değişimi tespit edilmedi. Her gece için hesaplanan atmosferik sönmüleme katsayıları kullanılarak, gözlemler atmosferik sönmüleme etkisinden arındırıldı. Tek bir gözlemin standart hatası B ve V bandları için sırasıyla ± 0.019 ve ± 0.041 olarak hesaplandı. Elde edilen BV ışık ve (B-V) renk eğrileri Şekil 1'de görülmektedir. Evre hesabı için gereken ışık elemanları $T_0=2452307.5076$ (Dvorak 2006) ve $P=0.37445764$ (Molik & Wolf (2000)) olarak kullanıldı. Sistemin elde edilen ışık eğrisine ilişkin karakteristikler Çizelge 1.'de verilmiştir.

Çizelge 1. HV Aqr'nın ışık eğrisi karakteristikleri.

	B	V
max. I seviyesi (0.25 evresi)	0.7270	0.6333
max. II seviyesi (0.75 evresi)	0.7190	0.6255
Dmax. = max. I – max. II	0.0080	0.0078
min. I derinliği	0.4471	0.4126
min. II derinliği	0.3957	0.3672
min. I seviyesi (0.0 evresi)	1.1741	1.0458
min. II seviyesi (0.5 evresi)	1.1147	0.9927
Dmin. = min. I – min. II	0.0594	0.0532



Şekil 1. HV Aqr'nin 2006 yılına ait ışık ve renk eğrileri.

3. Işık Eğrisi Analizi:

HV Aqr'nin B ve V bandı ışık eğrileri, Wilson-Devinney (Wilson & Devinney 1971) ışık eğrisi analiz programı kullanılarak Rucinski vd.'nin (2000) sistem için yayınladığı radyal hız değerleriyle birlikte eş zamanlı olarak analiz edildi. Işık eğrisi analizi için programa normal noktalar yerine doğrudan gözlemsel veriler girildi. Yine Rucinski vd.'nin (2000) belirlediği tayf türüne göre sisteme ait birinci bileşenin sıcaklığı Popper'ın (1980) sıcaklık kalibrasyon tablolarından birinci bileşenin etkin sıcaklığı $T_1 = 6500$ K olarak belirlendi. Sisteme ilişkin sıcaklıklara bağlı olarak logaritmik kenar kararım katsayıları $X_1(B, V)$, $Y_1(B, V)$, $X_2(B, V)$ ve $Y_2(B, V)$, van Hamme'nin (1993) tabloları kullanılarak belirlendi. Çekim kararım katsayıları ($g_1 = g_2$) ve albedo değerleri ($A_1 = A_2$) sistemin fiziğine uygun bir şekilde sırası ile Lucy (1967) ve Rucinski'den (1969) alındı. Model atmosfer olarak WD-2003 programında kullanılan Kurucz (1993) yıldız atmosferi modeli kullanıldı.

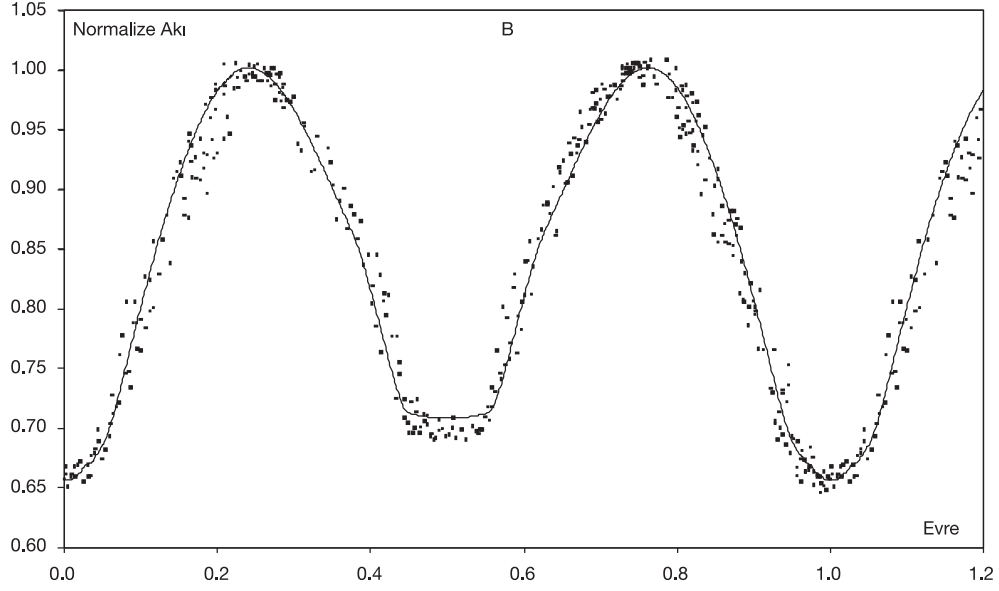
Wilson-Devinney programında, sistemin doğasına uygun olarak degen çiftler için önerilen MOD-3 kullanıldı. Başlangıç parametreleri olarak Molik & Wolf'un (2000) elde ettikleri parametreler kullanıldı. Analiz esnasında serbest bırakılan parametreler sistemin yörünge eğimi i , ikinci bileşenin etkin sıcaklığı T_2 , her iki bileşenin yüzey potansiyelleri $\Omega_1 = \Omega_2$, birinci bileşenin görelî ışınım gücü L_1 ve yörünge yarı-büyük eksen uzunluğu a dır. q kütle oranı parametresi tayfsal olarak belirlenmiş değ-

rinde sabit tutuldu. Diğer sabit tutulan parametreler ise birinci bileşenin etkin sıcaklığı T_1 , ikinci bileşenin görelî ışınım gücü L_2 , albedo değerleri $A_{1,2}$, lineer olmayan kenar kararım katsayıları $X_{1,2}$, $Y_{1,2}$ ve çekim kararım katsayıları $g_{1,2}$ dir.

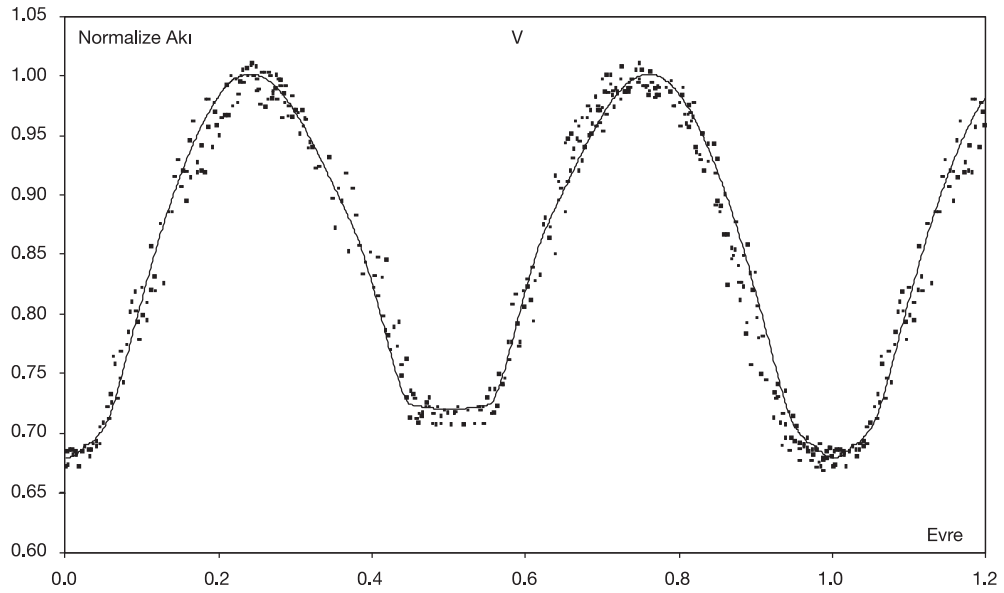
Sisteme ait fotometrik analiz sonuçları, sistemin her iki renkteki gözlemsel ve kuramsal ışık eğrileri ile sistemin 0.25 evresindeki geometrik modeli sırası ile Çizelge 2, Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4’de sunuldu. Çizelge 2’deki kesirsel yarıçaplar, bileşenlerin kutup doğrultusundaki görelî yarıçapları, sistemin yörünge düzleminde bileşenleri birbirine birleştiren doğrultuya dik yöndeki görelî yarıçapları ve birbirlerine bakmayan yüzeyleri doğrultusundaki yarıçapları kabulü altında, sırasıyla r_i (pole), r_i (side) ve r_i (back) olarak verildi.

Çizelge 2. HV Aqr’nın fotometrik analiz sonuçları.

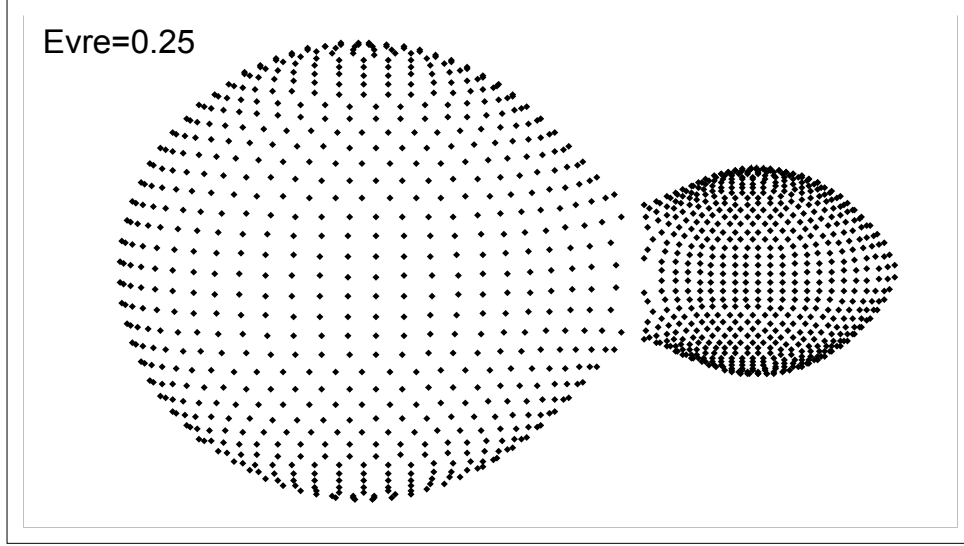
Parametre	Değer ± Hata
Sabit tutulan parametreler:	
$A_1 = A_2$	0.5
$g_1 = g_2$	0.32
$q=m_2/m_1$	0.145
$T_1(K)$	6500
$X_1 (B, V) - X_2 (B, V)$	0.805, 0.710 – 0.810, 0.717
$Y_1 (B, V) - Y_2 (B, V)$	0.238, 0.277 – 0.221, 0.271
$V_g (km s^{-1})$	-3.77
Serbest bırakılan parametreler:	
$i(\infty)$	86.59 ± 1.09
$T_2(K)$	6489 ± 155
$\Omega_1 = \Omega_2$	1.998 ± 0.11
$L_1/(L_1+L_2) (B)$	0.8316 ± 0.184373
$L_1/(L_1+L_2) (V)$	0.8314 ± 0.146644
$L_2/(L_1+L_2) (B)$	0.1686
$L_2/(L_1+L_2) (V)$	0.1685
Kesirsel yarıçaplar:	
r_1 (pole)	0.534 ± 0.032
r_1 (side)	0.598 ± 0.052
r_1 (back)	0.625 ± 0.065
r_2 (pole)	0.239 ± 0.042
r_2 (side)	0.253 ± 0.052
r_2 (back)	0.346 ± 0.220



Şekil 2. Wilson–Devinney yöntemiyle B bandı için elde edilen kuramsal ışık eğrisi (sürekli eğri) ile gözlemsel ışık eğrisinin karşılaştırması.



Şekil 3. Wilson–Devinney yöntemiyle V bandı için elde edilen kuramsal ışık eğrisi (sürekli eğri) ile gözlemsel ışık eğrisinin karşılaştırması.

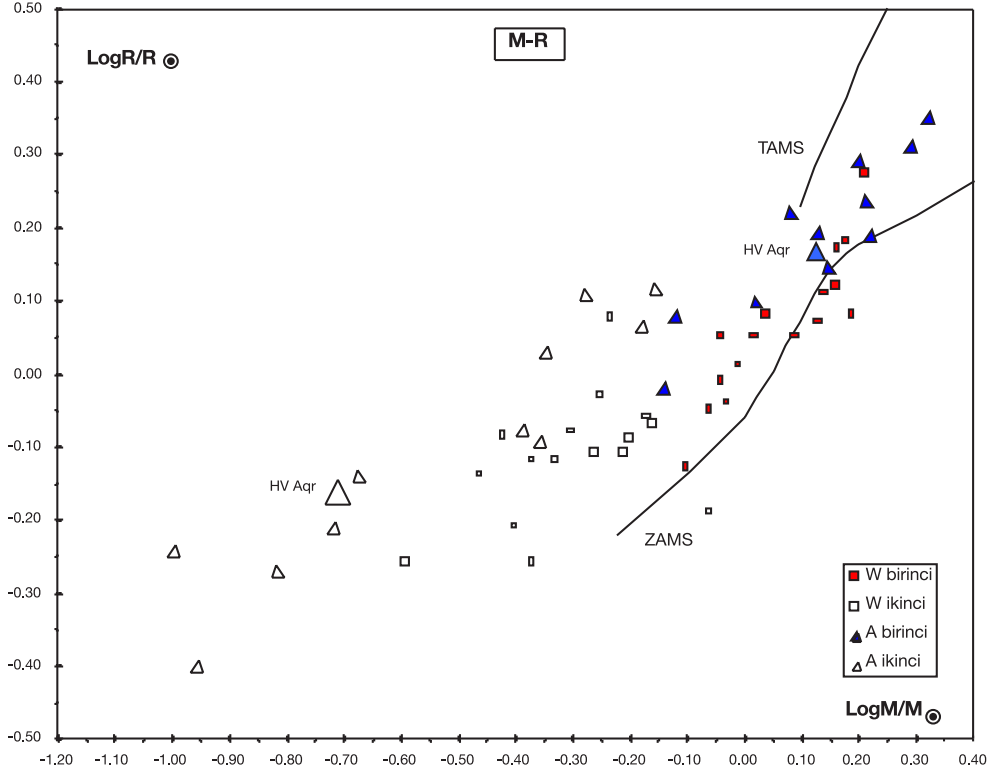


Şekil 4. HV Aqr'nın 0.25 yörünge evresi için geometrik yapısı.

4. Bileşenlerin Evrim Durumları:

Bu çalışmada HV Aqr için yapılan eş zamanlı çözümlerden bileşenlere ilişkin elde edilen kütle, yarıçap, yüzey sıcaklığı ve ışınım gücü değerleri, literatürde parametreleri iyi belirlenmiş W UMa türü sistemlerin benzer nicelikleri ile beraber teorik kütle-yarıçap (MR), kütle-parlaklık (ML) ve H-R diyagramları üzerinde irdelenmiş ve evrim durumları hakkında bilgi çıkarılmıştır. Bu irdellemeler sırasında Hilditch'in (1988) çalışmasında yer alan W-türü ve A-türü W UMa sisteminin salt parametrelerinin yanısıra, çalışma grubumuz tarafından ilk kez analizi yapılan HX UMa (A), V351 Peg (W) ve NN Vir (A) sistemlerinin de ilgili verileri kullanılmıştır. Oluşturulan MR, ML ve HR diyagramları sırası ile Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de görülmektedir. Bu diyagramlarda yer alan teorik "Sıfır Yaş Anakol (ZAMS)" ve "Terminal Yaş Anakol (TAMS)" a ait değerler Claret'in (1995), Güneş benzeri kimyasal bolluk ($X=0.70$, $Z=0.02$) için oluşturduğu teorik evrim yolları tablolarından alınmıştır.

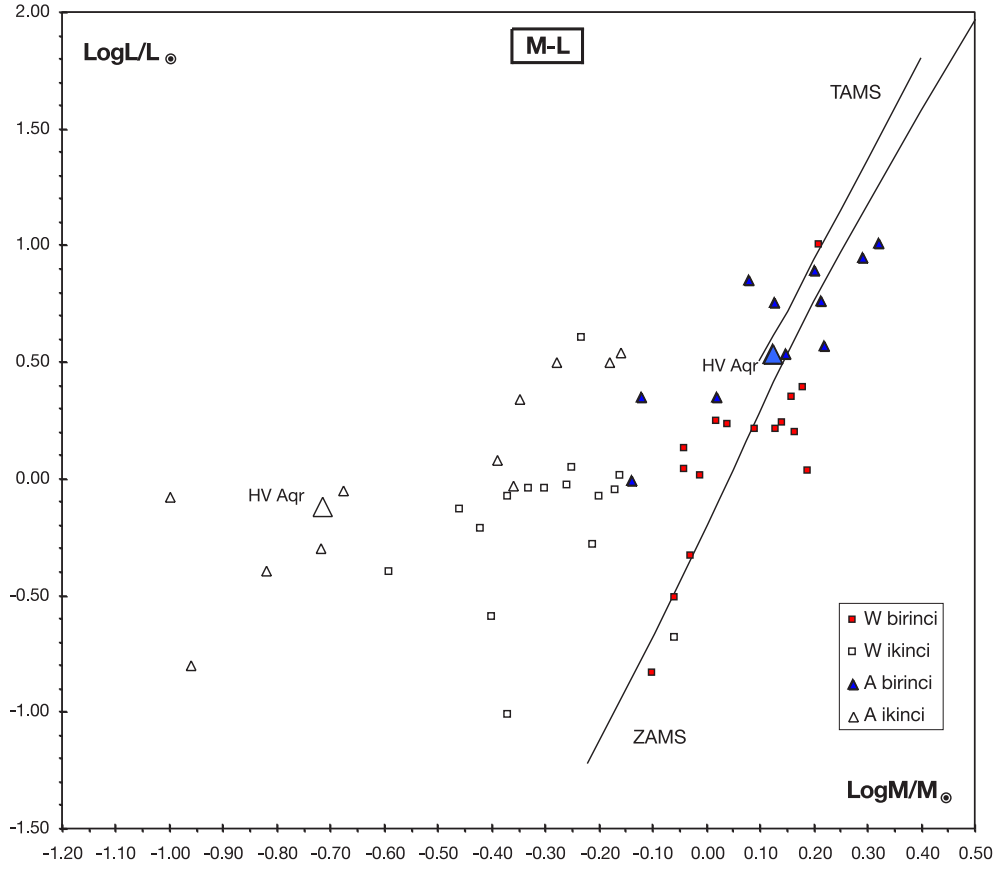
Hilditch'e (1988) göre bu üç diyagramdan evrime en duyarlı olanı MR diyagramıdır ve irdelenen sistemin bileşenlerinin bu diyagram üzerindeki konumlarından hareketle yapılacak yorumlar diğer iki diyagram aracılığı ile elde edilerek evrimsel durumlarına ışık tutmaktadır.



Şekil 5. Claret'in (1995) teorik evrim yolları kullanılarak oluşturulan sıfır yaş anakol (ZAMS) ve terminal yaş anakolları (TAMS) yardımıyla çizilen kütle-yarıçap (MR) diyagramı

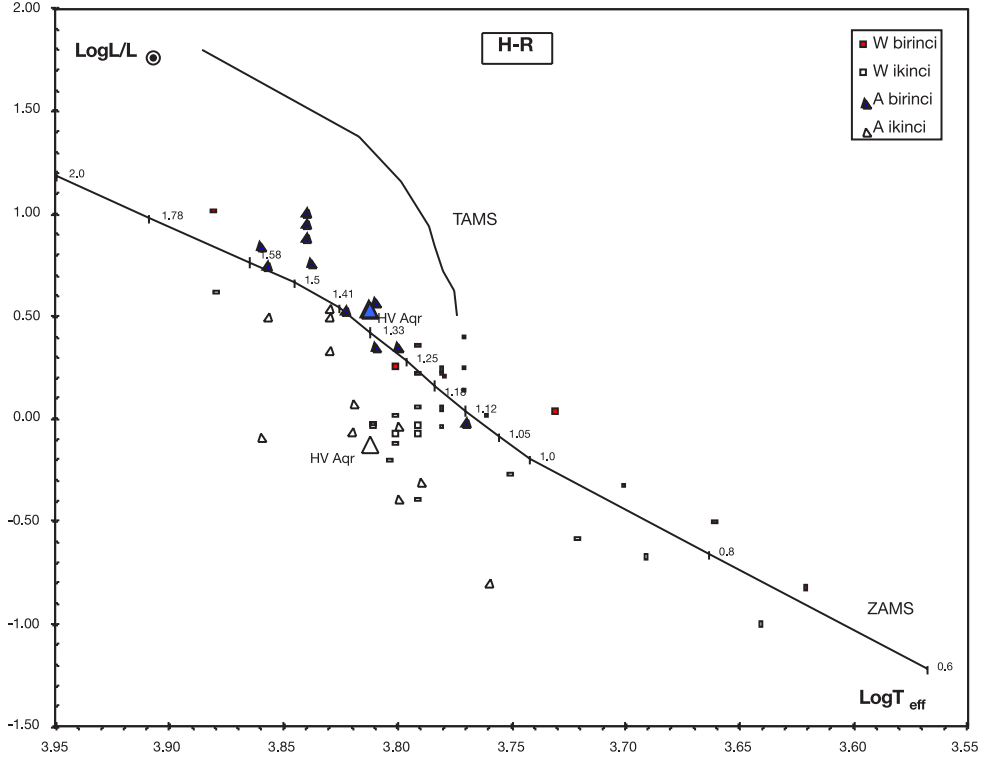
W-türü W UMa sistemlerine göre daha yüksek değme derecesine sahip A-türü W UMa sistemlerinin birinci bileşenleri W-türü sistemlerin birinci bileşenlerine oranla, belirgin olarak TAMS'a daha yakın ve hatta ötesindeki konumlarda yer almaktadırlar. Bu konumlar A-türü sistemlerin W-türü sistemlere oranla evrimde daha ileri noktalarda bileşenler içerdiği tezini (bkz. Lucy ve Wilson 1979) doğrular niteliktedir. Bu genellemenin ışığı altında HV Aqr sisteminin birinci bileşeninin her üç diyagramdaki konumundan bu durum açık bir şekilde görülebilir.

A-türü sistemlerin ikinci bileşenleri de MR diyagramında beklenen ZAMS kütlelerine göre daima daha büyük yarıçaplar göstermektedirler. Ancak Patterson'un (1984) kütle-yarıçap bağıntısına göre bileşen yarıçaplarında izlenen fazlalık yaklaşık 3 kattır. Buna göre ML diyagramında gösterdikleri ışınım gücü fazlalığı, W-türü ikinci bileşenlere oranla daha da büyüktür. Bu etki H-R diyagramında A-türü sistemlerin ikinci bileşenlerini ZAMS'ın solunda oldukça uzak ve çok daha yukarıda



Şekil 6. Claret'in (1995) teorik evrim yolları kullanılarak oluşturulan sıfır yaş anakol (ZAMS) ve terminal yaş anakolları (TAMS) yardımıyla çizilen kütle-parlaklık (ML) diyagramı

ki bölgelere taşınmış durumdadır. Bu ışınım artığının kökeninde de birinci bileşenlerinden aldıkları fazlalık ışınım yatmaktadır. HV Aqr'nın ikinci bileşeni bu genelleme ölçütleri içinde tipik bir A-türü sistem üyesi olarak kendini göstermektedir.



Şekil 7. Claret'in (1995) teorik evrim yolları kullanılarak oluşturulan sıfır yaş anakol (ZAMS) ve terminal yaş anakolları (TAMS) yardımıyla çizilen H-R diyagramı

5. Sonuçlar:

Bu çalışmada, HV Aqr çift yıldızının 2006 gözlem sezonunda Ankara Üniversitesi Gözlemevi'nde elde edilen B ve V bandı ışık eğrileri, sistemin güncel radyal hız eğrileriyle birlikte eş zamanlı olarak WD2003 programı kullanılarak modellendi. Buna göre sistem yüksek değme derecesine sahip, tam tutulma gösteren sığ minimum derinlikleri ve düşük kütle oranıyla tipik bir A-türü W UMa örten çift yıldızdır.

Bu çalışmanın önemi sistemin ilk kez Wilson-Devinney analiz programı kullanılarak radyal hız verileriyle birlikte eş zamanlı olarak çözülmesi ve daha duyarlı olarak fiziksel parametrelerinin elde edilmiş olmasıdır. Sisteme ait fotometrik ve tayfsal yörünge elemanlarının tespit edilmiş olması, sistemin bileşenlerine ilişkin mut-

lak boyutlarının da ilk kez duyarlı olarak hesaplanmasına olanak tanımıştır. Bu yol-
la sisteme ilişkin hesaplanan mutlak parametreler, sistemin Güneş yarıçapı cinsin-
den yörünge yarı-büyük eksen uzunluğu a , Güneş kütlesi cinsinden kütleler $M_{1,2}$,
Güneş'in ışıyım gücü cinsinden ışıyım güçleri $L_{1,2}$, Güneş yarıçapı cinsinden yarı-
çap değerleri $R_{1,2}$, cgs birim sisteminde yüzey çekim ivmeleri $\text{Log}g_{1,2}$ ve kadir cin-
sinden bolometrik parlaklıklar $M_{\text{bol}}^{1,2}$, Çizelge3'de listelenmiştir.

Çizelge 3. HV Aqr'nın Mutlak Parametreleri

Parametre	Değer
$a (R_{\odot})$	2.51 ± 0.02
$M_1 (M_{\odot})$	1.325
$M_2 (M_{\odot})$	0.192
$L_1 (L_{\odot})$	3.44 ± 0.06
$L_2 (L_{\odot})$	0.76 ± 0.06
$R_1 (R_{\odot})$	1.46 ± 0.01
$R_2 (R_{\odot})$	0.69 ± 0.01
$\text{Log } g_1 \text{ (cgs)}$	4.22
$\text{Log } g_2 \text{ (cgs)}$	4.05
$M_{\text{bol}}^1 \text{ (kadir)}$	3.44
$M_{\text{bol}}^2 \text{ (kadir)}$	5.12

Elde edilen fiziksel parametreler kullanılarak sistemin bileşenlerinin evrim duru-
mu, HV Aqr'nın A-türü bir W UMa sistemi olduğunu doğrular niteliktedir.

REFERANSLAR:

- Bradstreet D., 1993, Binary Maker 2.0, Contact Software, Norristown, PA 19401- 5505.
Claret A., 1995, "Stellar models for a wide range of initial chemical compositions until helium burning
I. From $X=0.60$ to $X=0.80$ for $Z=0.02$.", A&AS, 109, 441
Dvorak S. W., "Times of Minima for Neglected Eclipsing Binaries in 2005", Inform. Bull. Var. Stars,
(2006) No. 5677
Hill G., Hutchings J. B., 1970, "The Synthesis of Close – Binary Light Curves. I. The Reflection Ef-
fect and Distorsion in Algol", ApJ, 162, 265.
Hilditch R.W., King D.J., McFarlane T.M., 1988, "The evolutionary state of contact and near-contact
binary stars.", MNRAS, 231, 341-352

- Hutton R. G., 1992, "A New Variable in Aquarius", IBVS No.: 3723.
- Kurucz R. L., 1993, "New Atmospheres for Modelling Binaries and Disks, in E. F., Milone (ed.), Light Curve Modeling of Eclipsing Binary Stars", 93-102, Springer, New York.
- Lucy L. B., 1967, "Gravity-Darkening for Stars with Convective Envelopes" *Zeitschr. F. Astrophys.*, 65, 89.
- Lucy, L., B., Wilson, R.E., 1979. Observational tests of theories of contact binaries. *ApJ*, 231, 502
- Molik P., Wolf M., 2000, "CCD Photometry of the Eclipsing Binary HV Aquarii", IBVS No.: 4951.
- Patterson J., 1984, "The evolution of cataclysmic and low-mass X-ray binaries", *ApJS*, 54, 443
- Popper D. M., 1980, "Stellar masses" *ARA&A*, 18, 115.
- Robb R. M., 1992, "On the Variability of BD -3 5183", IBVS No.: 3798.
- Rucinski S. M., 1969, "The Proximity Effects in Close Binary Systems. II. The Bolometric Reflection Effect for Stars with Deep Convective Envelopes", *Acta Astr.*, 19, 245.
- Rucinski S. M., Lu W. Mochacki S. W., 2000, "Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. III", *AJ*, 120, 1133.
- Schirmer J., Geyer E. H., 1992, "GSC 5198.00659, the New Variable in Aquarius is a W UMa System", IBVS No.: 3785.
- van Hamme W., 1993, "New limb-darkening coefficients for modeling binary star light curves", *AJ*, 106, 2096.
- Wilson R. E., Devinney E. J., 1971, "Realization of Accurate Close-Binary Light Curves: Application to MR Cygni", *ApJ*, 166, 605.