



Güney Yarımküre Gökyüzünden Seçilen Ayrık Çift Yıldızların Mutlak Parametreleri

Derya Sürgit^{1,2*}, Ahmet Erdem^{1,3}

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Astrofizik Araştırma ve Uygulama Merkezi ve Ulupınar Gözlemevi, Terzioğlu Kampüsü, 17020 Çanakkale, Türkiye.

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Uzak Bilimler ve Teknolojileri Bölümü, Terzioğlu Kampüsü, 17020 Çanakkale, Türkiye.

³Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Terzioğlu Kampüsü, 17020 Çanakkale, Türkiye.

Özet: Güney yarımküre gökyüzünden seçilen ayrık çift sistemlerin Güney Afrika Gözlemevi'nde yapılan tayfsal gözlemlerden elde edilen dikine hız eğrileri ile literatürden alınan ışık eğrileri, çözümlenerek; bileşen yıldızların mutlak parametreleri belirlenmiş ve modern evrim modelleri kullanılarak evrim durumları tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yıldızlar: çift yıldızlar: örten çift yıldızlar – Yıldızlar: çift yıldızlar: tayf – Yıldızlar: mutlak parametreler – Yıldızlar: evrim – Yıldızlar: çift yıldızlar: V349 Ara, V4403 Sgr, QY Tel, HO Tel, HD 53570, AE Hor ve XX Ant

Abstract: Spectroscopic observations of selected southern detached binaries were made at the South African Astronomical Observatory. Radial velocity curves obtained from these spectroscopic observations and photometric light curves from literature were solved, and then absolute physical parameters of component stars were calculated. Evolutionary statuses of these southern detached binaries were also discussed using evolution models.

Key Words: Stars: binaries: eclipsing – Stars: binaries: spectroscopic – Stars: fundamental parameters – Stars: evolution – Stars: individual: V349 Ara, V4403 Sgr, QY Tel, HO Tel, HD 53570, AE Hor and XX Ant

1. Giriş

V349 Ara, Strohmeier, Knigge & Ott (1964) tarafından, fotografik yöntemle, değişen yıldız olarak keşfedilmiştir. Schoeffel ve Kohler (1965) tarafından ilk fotometrik gözlemi yapılmış, Pojmanski ve Maciejewski (2004a) tarafından, ASAS (All Sky Automated Survey) veri tabanında dönemi 2.65178 gün olarak kaydedilmiştir. **V4403 Sgr**, HIPPARCOS (ESA, 1997) gözlemleriyle değişen yıldız olduğu ortaya konmuştur. V4403 Sgr, ASAS veri tabanında Pojmanski ve Maciejewski (2004b) tarafından dönemi 1.7014 gün olarak belirlenmiştir. **QY Tel**, HIPPARCOS (ESA, 1997) gözlemleriyle değişen yıldız olduğu ortaya çıkarılmıştır. Sistem, Kazarov ve ark. (1999) tarafından Algol türü örten bir çift sistem olarak sınıflanmıştır. QY Tel'in, ASAS veri tabanında dönemi 2.488926 gün olarak verilmiştir (Pojmanski, 2002). **HO Tel**, Strohmeier ve ark. (1965) tarafından fotografik yöntemle keşfedilmiş ve Algol türü örten çift sistem olarak sınıflandırılmıştır. Daha sonra Spoelstra ve van Houten (1972) sistemin beş farklı filtrede alınmış fotometrik minimum zamanlarından sistemin yörünge dönemini 1.6131409 gün olarak yeniden güncellemiştir. **HD 53570**, SIMBAD veri tabanında, F3V tayf türünden, değişen yıldız olarak verilmiştir. HD 53570'in ilk fotometrik ışık eğrisi Pojmanski (2002) tarafından yayınlanmış; sistemin yörünge dönemi 2.6396 gün olarak belirlenmiş ve ASAS kataloğunda değişen yıldız olarak listelenmiştir. **AE Hor**, Renson ve ark. (1991)'nin Ap ve Am yıldızlar kataloğunda listelenmiştir. ASAS veri tabanına göre sistemin dönemi 2.38330 gün olarak verilmiştir (Pojmanski, 2002). **XX Ant**, Strohmeier, Knigge & Ott (1965) tarafından Bamberg değişen yıldızı (BV 716) olarak listelenmiştir. Dvorak (2004), XX Ant'inde içerisinde olduğu 85 Güney Yarımküre örten çift sistemin yörünge dönemlerini yeniden hesaplamış ve XX Ant'in yörünge dönemini 0.88801 gün olarak güncellemiştir.

2. Tayfsal Gözlemler ve Veri İndirgemesi

Seçilen sistemlerin tayfları, 2012-2014 yılları arasında Güney Afrika Cumhuriyeti'nde, Cape Town'a 4 saat uzaklıktaki Sutherland kasabasında yer alan, Bilim ve Teknoloji Bölümü altında Ulusal Araştırma Fonu (National Research Foundation, NRF) tarafından desteklenen Güney Afrika Astronomi Gözlemevi'nde (South Africa Astronomical Observatory, SAAO), 1.9 m Cassegrain teleskobu ve buna bağlı SITE CCD kamera ile kullanılan slit (grating) tayf çekeri ile alınmıştır. Gözlemlerde, her biri 15 µm boyutunda olan 266x1798 pikselden oluşan ve verimli dalgaboyu aralığı 0.35 µm ile 1 µm arasında değişen SITE CCD kamera kullanılmıştır. Gözlemlerde grating 4 kullanılmıştır. Grating 4'ün gözlem duyarlılığı 410 – 510 nm dalgaboyu aralığında olup maksimum duyarlılığı 460 nm'dir; çözünürlüğü 0.1 nm (R=4600) ve slit genişliği 1.5 yansımasıdır. Tüm tayfsal gözlemler sırasında her bir yıldız görüntüsünün öncesinde ve sonrasında Cu/Ar lambası, mukayese tayfı olarak alınırken; flat düzeltmesi için, her gece beyaz ışık görüntüsü de alınmıştır. Gözlemlerin indirgenmesinde ve veriye dönüştürülmesinde IRAF yazılımının (iraf.noao.edu/) içinde yer alan standart paketler kullanılmıştır.

*Sorumlu Yazar E-Posta: d.surgit@comu.edu.tr

3. Tayfsal Veri Analizi ve Yörünge Çözümü

Gözlenen ayrıık çift yıldızların bileşenlerinin dikine hızlarının ölçümü, dalgaboyu kalibrasyonu ve normalizasyonu yapılan tayflara çapraz-eşleme (cross-correlation, Tonry ve Davis, 1979; Popper ve Jeong, 1994) ve Fourier ayıklama (Fourier disentangling, KOREL, Hadrava, 2004) olmak üzere iki farklı yöntem kullanılarak yapılmıştır. Fourier ayıklama yönteminin bileşenlerin okunan dikine hızlarının standart hatalarını vermediğinden ve bazı kompleks durumlarda tek bir çözüm üretmediğinden dolayı; dikine hızların okunmasında ve yörünge parametrelerinin elde edilmesinde çapraz-eşleme yöntemi tercih edilmiş; Fourier ayıklama yöntemi, yalnızca, çapraz-eşleme yöntemi ile belirlenen dikine hız değerlerinin denetlenmesi için kullanılmıştır.

Çizelge 1: V349 Ara, V4403 Sgr, QY Tel, HO Tel sistemlerinin yörünge elemanları

Parametre	V349 Ara	V4403 Sgr	QY Tel	HO Tel
P_{orb} (d)	2.65178(sbt)	1.7014(sbt)	2.488926 (sbt)	1.613097(sbt)
T_o (HJD)	52434.7727(± 0.0064)	51951.9209(± 0.0037)	2451957.1046(± 0.0036)	51875.0721(± 0.0026)
K_1 (km s ⁻¹)	126.87(± 1.44)	137.28(± 1.16)	114.82(± 0.95)	131.45(± 1.20)
K_2 (km s ⁻¹)	129.82(± 1.36)	114.18(± 1.14)	105.02(± 0.94)	142.75(± 1.21)
e	0	0	0	0
V_7 (km s ⁻¹)	-21.92(± 0.89)	13.15(± 0.69)	5.59(± 0.57)	-5.88(± 0.70)
q	0.977(± 0.034)	1.202(± 0.035)	1.093(± 0.007)	0.921(± 0.005)
$a_1 \sin i$ (AU)	0.0309(± 0.0004)	0.0215(± 0.0002)	0.0263(± 0.0002)	0.0195(± 0.0002)
$a_2 \sin i$ (AU)	0.0316(± 0.0003)	0.0179(± 0.0002)	0.0240(± 0.0002)	0.0212(± 0.0002)
$M_1 \sin^3 i$ (M _⊙)	2.350(± 0.056)	1.273(± 0.027)	1.309(± 0.026)	1.794(± 0.035)
$M_2 \sin^3 i$ (M _⊙)	2.297(± 0.057)	1.530(± 0.030)	1.431(± 0.027)	1.652(± 0.033)

Çizelge 1'in Devamı HD 53570, AE Hor ve XX Ant sistemlerinin yörünge elemanları

Parametre	HD53570	AE Hor	XX Ant
P_{orb} (d)	2.6396(sbt)	2.38327(sbt)	0.88801(sbt)
T_o (HJD)	51871.6820(± 0.0086)	53373.4981(± 0.0061)	53052.8187(± 0.0020)
K_1 (km s ⁻¹)	106.25(± 1.99)	120.00(± 1.56)	161.41(± 2.41)
K_2 (km s ⁻¹)	94.17(± 1.92)	111.50(± 1.58)	159.69(± 2.47)
e	0	0	0
V_7 (km s ⁻¹)	60.66(± 1.17)	17.63(± 0.99)	9.27(± 1.30)
q	1.128(± 0.071)	1.076(± 0.046)	1.011(± 0.049)
$a_1 \sin i$ (AU)	0.0258(± 0.0005)	0.0263(± 0.0003)	0.0132(± 0.0002)
$a_2 \sin i$ (AU)	0.0228(± 0.0005)	0.0244(± 0.0003)	0.0130(± 0.0002)
$M_1 \sin^3 i$ (M _⊙)	1.035(± 0.046)	1.476(± 0.046)	1.515(± 0.052)
$M_2 \sin^3 i$ (M _⊙)	1.167(± 0.050)	1.588(± 0.047)	1.531(± 0.052)

4. Işık ve Dikine Hız Eğrilerinin Çözümü

V349 Ara, V4403 Sgr ve QY Tel sistemlerinin ASAS (The All Sky Automated Survey) veri tabanından alınmış (Pojmanski, 2002) V filtresindeki ışık eğrileri ile bu çalışmadan elde edilen dikine hız eğrileri, Wilson-Devinney (W-D) yöntemi (Wilson ve Devinney 1971) kullanılarak eşzamanlı olarak analiz edildi. V349 Ara, V4403 Sgr ve QY Tel sistemlerinin eşzamanlı çözüm sonucu elde edilen parametreleri ve hataları Çizelge 2'de verilmiştir. HO Tel'in, ASAS (The All Sky Automated Survey) veri tabanından alınmış (Pojmanski, 2002) V filtresindeki ışık eğrisi, *VBLUW* Walfraven (Spoelstra ve van Houten, 1972) beş farklı filtrede alınmış ışık eğrileri, HD 53570, AE Hor ve XX Ant sistemlerinin ASAS veri tabanından alınmış V filtresindeki ışık eğrileri ile sistemlerin bu çalışmadan elde edilen dikine hız eğrileri Monte Carlo algoritması altında W-D yöntemi (Zola ve ark. 2004, 2010) kullanılarak çözülmüştür. HO Tel, HD 53570, AE Hor ve XX Ant sistemlerinin Monte Carlo yöntemi kullanılarak elde edilen ışık elemanları ve hataları Çizelge 3'te verilmiştir. Seçilen 7 ayrıık çift sistemin ışık

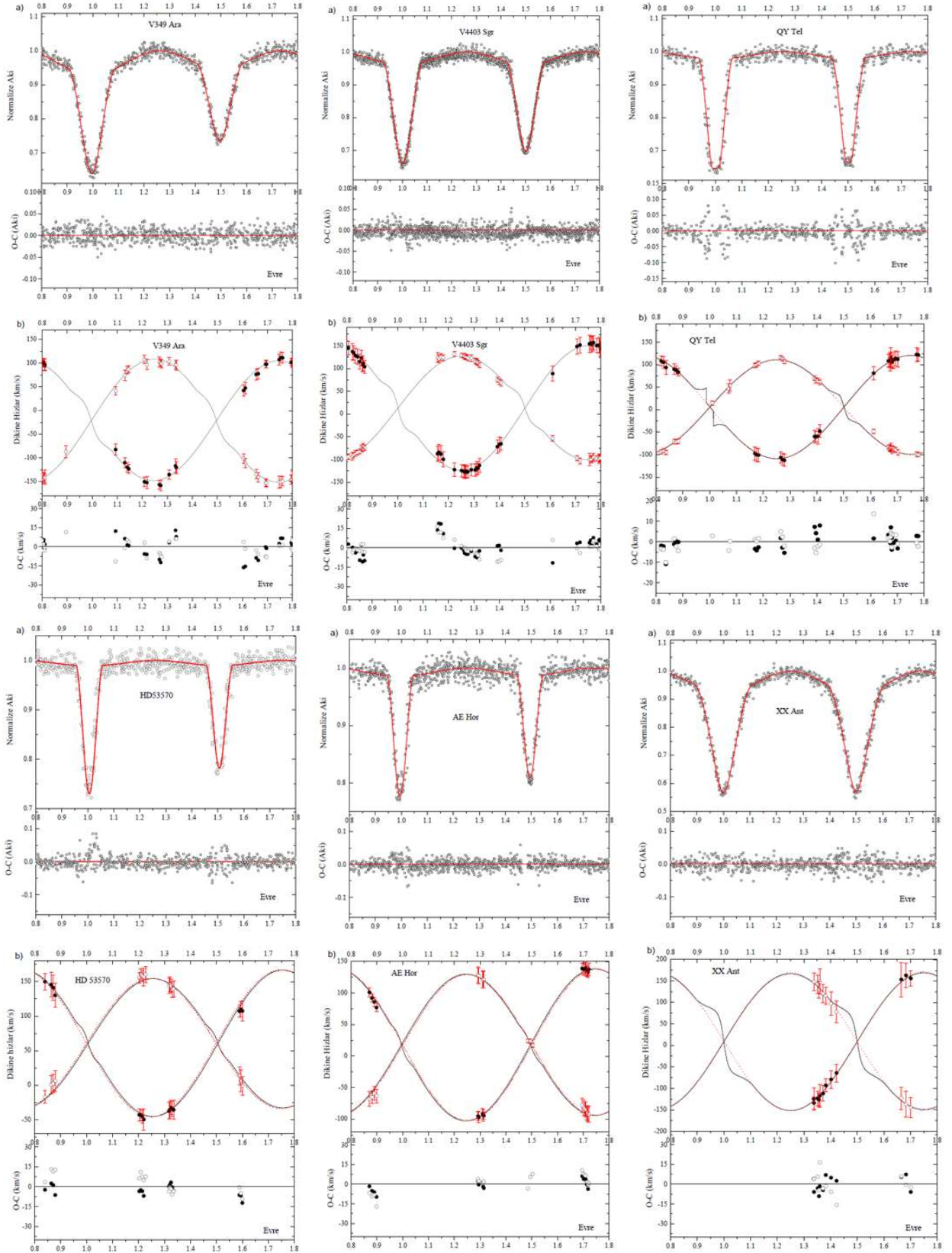
eğrileri ve en iyi temsil eden teorik ışık eğrileri, bileşenlerin gözlenen dikine hızları ve bunları en iyi temsil eden teorik eğrileri, Şekil 1 ve 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2: V349 Ara, V4403 Sgr ve QY Tel sistemlerinin ASAS V ışık ve dikine hız eğrilerinin eşzamanlı çözümlerinden elde edilen parametreleri ve hataları.

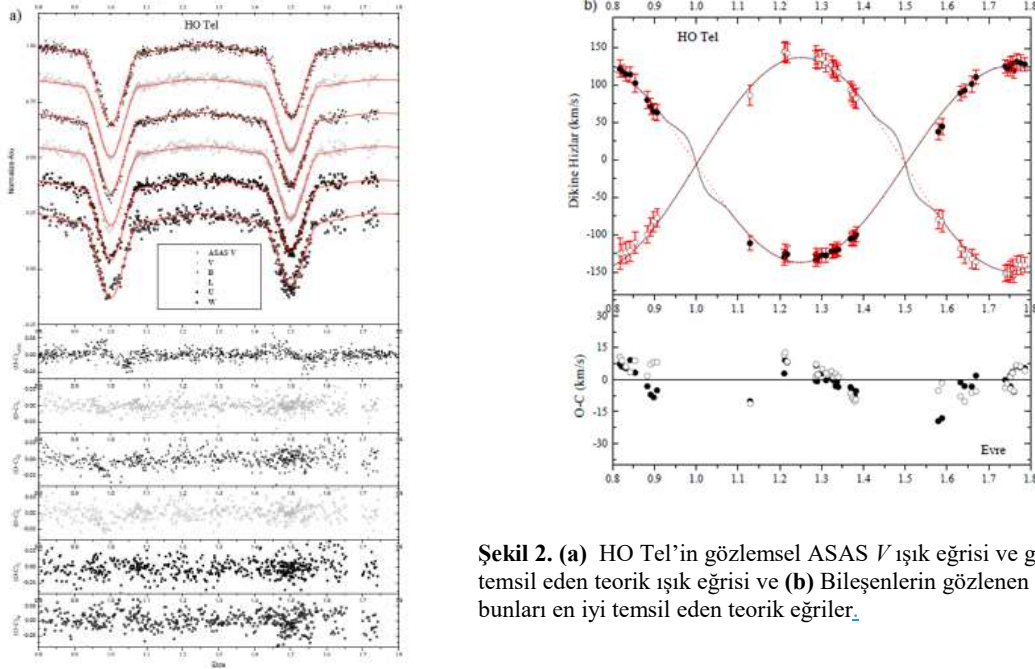
Parametre	V349 Ara	V4403 Sgr	QY Tel
a (R_{\odot})	13.86(± 0.08)	8.56(± 0.03)	10.82(± 0.12)
Evre kayması (ϕ)	-0.0039(± 0.0003)	0.0012(± 0.0001)	0.0007(± 0.0003)
$V\gamma$ (km/s)	-21.3(± 0.7)	13.2(± 0.4)	5.65(± 1.07)
i ($^{\circ}$)	77.61(± 0.11)	81.20(± 0.09)	89.00(± 0.84)
T_1 (K)	9074	6517	6550 (sbt)
T_2 (K)	8180(± 28)	6316(± 7)	6294(± 23)
q (m_2/m_1)	0.967(± 0.007)	1.199(± 0.007)	1.091(± 0.022)
Ω_1	4.865(± 0.050)	6.162(± 0.036)	7.343(± 0.054)
Ω_2	4.306(± 0.030)	5.072(± 0.025)	5.369(± 0.080)
L_1/L_{tot} (V)	0.493(± 0.011)	0.349(± 0.005)	0.324(± 0.005)
r_1 (ortalama)	0.259(± 0.004)	0.203(± 0.002)	0.160(± 0.012)
r_2 (ortalama)	0.299(± 0.004)	0.292(± 0.003)	0.249(± 0.015)

Çizelge 3: HO Tel'in ASAS V ve $VBLUW$ Walfraven beş renk ışık eğrileri, HD 53570, AE Hor ve XX Ant sistemlerinin ASAS V ışık eğrileri ile dikine hız eğrilerinin Monte Carlo algoritması altında W-D yöntemi kullanılarak elde edilen parametreleri ve hataları.

Parametre	HO Tel	HD 53570	AE Hor	XX Ant
A (R_{\odot})	8.88(± 0.04)	10.54(± 0.13)	11.12(± 0.06)	5.67(± 0.05)
Evre kayması (ϕ)	0.0006(± 0.0002)	0.0039(± 0.0003)	-0.0040(± 0.0004)	0.0001(± 0.0002)
$V\gamma$ (km/s)	-5.7(± 0.5)	60.8(± 1.0)	17.9(± 0.5)	8.6(± 1.2)
q (M_2/M_1)	0.920(± 0.001)	1.132(± 0.001)	1.076(± 0.001)	1.010(± 0.001)
i ($^{\circ}$)	81.01(± 0.03)	81.33(± 0.12)	79.79(± 0.12)	83.11(± 0.08)
Evre kayması (ϕ)	0.0005(± 0.0001)	0.0061(± 0.0002)	-0.0048(± 0.0003)	-0.0001(± 0.0002)
T_1 (K)	7872 (sbt)	6000 (sbt)	7300 (sbt)	6872 (sbt)
T_2 (K)	7627(± 5)	5706(± 14)	7016(± 15)	6840(± 12)
Ω_1	4.857(± 0.007)	7.785(± 0.077)	7.210(± 0.069)	4.462(± 0.037)
Ω_2	5.002(± 0.008)	6.755(± 0.058)	6.676(± 0.090)	4.088(± 0.037)
L_1/L_{tot} (V_{ASAS})	0.564(± 0.002)	0.420(± 0.004)	0.460(± 0.028)	0.429(± 0.012)
L_1/L_{tot} (V)	0.568(± 0.002)			
L_1/L_{tot} (B)	0.563(± 0.002)			
L_1/L_{tot} (L)	0.567(± 0.002)			
L_1/L_{tot} (U)	0.574(± 0.002)			
L_1/L_{tot} (W)	0.588(± 0.002)			
r_1 (ortalama)	0.257(± 0.012)	0.151(± 0.012)	0.164(± 0.012)	0.295(± 0.012)
r_2 (ortalama)	0.234(± 0.015)	0.196(± 0.015)	0.189(± 0.015)	0.334(± 0.015)



kil 1. (a) V349 Ara, V4403 Sgr, QY Tel, HD 53570, AE Hor ve XX Ant'in gözlemsel ASAS V ışık eğrileri ve gözlemleri en iyi temsil eden teorik ışık eğrileri ve **(b)** Bileşenlerin gözlenen dikine hızları ve bunları en iyi temsil eden teorik eğriler.



Şekil 2. (a) HO Tel'in gözlemsel ASAS V ışık eğrisi ve gözlemleri en iyi temsil eden teorik ışık eğrisi ve (b) Bileşenlerin gözlenen dikine hızları ve bunları en iyi temsil eden teorik eğriler.

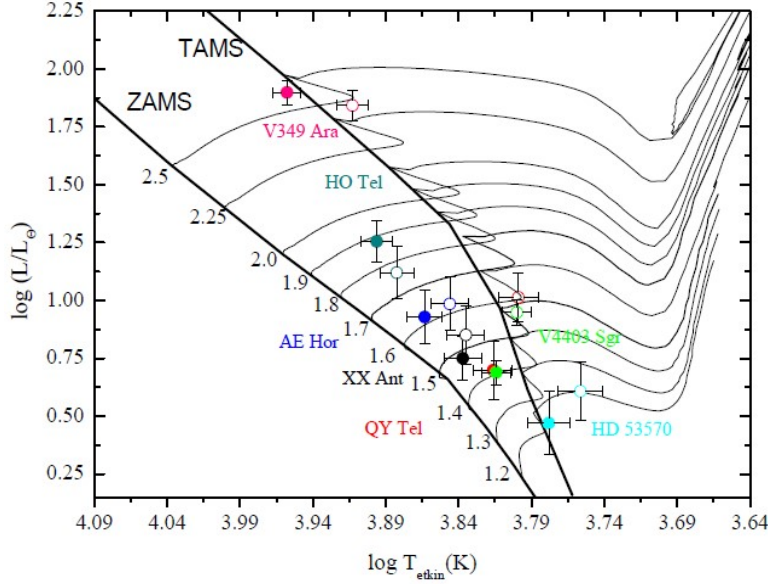
5. Sonuç ve Tartışma

-Seçilen ayrıık çift yıldızların bu çalışmadan elde edilen dikine hız eğrileri ve literatürden alınan ışık eğrileri, analiz edilmiş ve sistemlerin mutlak parametreleri elde edilmiştir (bkz, Çizelge 4). Ayrıca, seçilen 7 ayrıık çift yıldızın bileşenlerinin HR diyagramındaki konumları işaretlenmiştir (bkz, Şekil 3). Diyagram için Geneva evrim modelleri (Ekström ve ark. 2012) kullanılmış ve Güneş kimyasal kompozisyonu $Z=0.014$ (Asplund ve ark. 2009) seçilmiştir. (1.1 - 2.6) M kütle aralığına yayılmış, Kütle oranı ($q \leq 1$) olan iki ayrıık çift yıldızın (V349 Ara ve HO Tel) bileşenlerinin ve kütle oranı ($q \geq 1$) olan beş ayrıık çift yıldızın (V4403 Sgr, QY Tel, HD 53570, AE Hor ve XX Ant) bileşenlerinin HR diyagramındaki konumlarına bakıldığında; baş bileşenlerin ZAMS'a daha yakın konumda yer aldıkları, yoldaş bileşenlerin ise evrim sürecinde daha ileri aşamada oldukları ve TAMS'a yakın ya da TAMS'ı terketmiş konumda oldukları görülmektedir. Seçilen yıldızlardan, yalnızca, en küçük kütleli HD 53570 ayrıık çift yıldızın bileşenlerinin her ikisi de TAMS'ı terketmiş gözükmektedir.

Çizelge 4: Seçilen Sistemlerin Mutlak Parametreleri

Parametre	V349 Ara	V4403 Sgr	QY Tel	HO Tel	HD 53570	AE Hor	XX Ant
A (R_{\odot})	13.86(± 0.08)	8.56(± 0.03)	10.82(± 0.12)	8.88(± 0.04)	10.54(± 0.13)	11.12(± 0.06)	5.67(± 0.05)
M_1 (M_{\odot})	2.59(± 0.07)	1.33(± 0.02)	1.32(± 0.06)	1.88(± 0.03)	1.06(± 0.04)	1.57(± 0.03)	1.55(± 0.05)
M_2 (M_{\odot})	2.51(± 0.06)	1.59(± 0.03)	1.44(± 0.09)	1.73(± 0.03)	1.20(± 0.05)	1.69(± 0.03)	1.56(± 0.05)
R_1 (R_{\odot})	3.60(± 0.07)	1.74(± 0.02)	1.74(± 0.15)	2.28(± 0.12)	1.59(± 0.15)	1.82(± 0.14)	1.67(± 0.08)
R_2 (R_{\odot})	4.15(± 0.07)	2.50(± 0.03)	2.70(± 0.16)	2.08(± 0.16)	2.06(± 0.16)	2.10(± 0.16)	1.89(± 0.16)
T_1 (K)	9074(± 200)	6517(± 150)	6550(± 200)	7872(± 200)	6000(± 200)	7300(± 200)	6872(± 200)
T_2 (K)	8180(± 202)	6316(± 151)	6294(± 201)	7627(± 201)	5706(± 201)	7016(± 201)	6840(± 201)
L_1 (L_{\odot})	79(± 11)	4.90(± 0.58)	5.00(± 1.47)	17.96(± 3.65)	2.95(± 0.93)	8.46(± 2.26)	5.62(± 1.21)
L_2 (L_{\odot})	69(± 9)	8.95(± 1.08)	10.30(± 2.54)	13.17(± 3.42)	4.06(± 1.20)	9.65(± 2.58)	7.08(± 2.03)
M_{bol1} (mag)	0.01(± 0.14)	3.03(± 0.13)	3.01(± 0.32)	1.62(± 0.22)	3.58(± 0.34)	2.44(± 0.29)	2.88(± 0.23)
M_{bol2} (mag)	0.15(± 0.15)	2.38(± 0.13)	2.22(± 0.27)	1.96(± 0.28)	3.23(± 0.32)	2.93(± 0.29)	2.63(± 0.31)

M_V (sistem)	-0.68(± 0.12)	2.03(± 0.11)	1.80(± 0.23)	0.98(± 0.22)	2.68(± 0.33)	1.56(± 0.23)	1.56(± 0.23)
d (pc)	677(± 36)	199(± 10)	365(± 40)	280(± 28)	225(± 35)	238(± 25)	221(± 21)



Şekil 3. Seçilen bileşenlerinin

konumları. Diyagramdaki içi dolu küreler, birinci bileşenleri ve içi boş küreler, ikinci bileşenleri temsil etmektedir. Dikey ve yatay çizgiler bileşenlerin hesaplanan değerlerinin hata barlarını göstermektedir. HR diyagramında, ZAMS (Zero Age Main Sequence), sıfır yaş anakolu; TAMS (Terminal Age Main Sequence), terminal yaş anakolu temsil etmektedir. ZAMS kolundaki sayılar, seçilen evrim çizgilerinin başlangıç kütlelerini göstermektedir.

Teşekkür: Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından, TÜBİTAK_1002 hızlı destek programı kapsamında, 115F258 numaralı ve “Güney Yarımküre Gökyüzünden Seçilen Ayrık Çift Yıldızların Mutlak Parametreleri” başlıklı proje altında desteklenmiştir.

6. Kaynaklar

- All Sky Automated Survey (ASAS), <http://www.astrow.edu.pl/asas/>.
 Asplund, M., Grevesse, N., Sauval, A.J., Scott, P., 2009, ARA&A, 47, 481-522
 Dvorak, S. W. 2004, IBVS, 1, 5542
 Ekström, S., ve ark., 2012, A&A, 537, 146
 ESA, 1997. The Hipparcos & Tycho Catalogues. SP-1220
 Hadrava, P. 2004. in Hilditch R. W., Hensberge H., Pavlovski K., eds, ASP Conf. Ser. Vol. 318, Spectroscopically and Spatially Resolving the Components of the Close Binary Stars. Astron. Soc. Pac., San Francisco, p. 86
 Kazarovets, E.V., ve ark., 1999, IBVS, 1, 4659
 Pojmanski, G. 2002, AcA, 52, 397-427
 Pojmanski, G., & Maciejewski, G. 2004a, AcA, 54, 153-179
 Pojmanski, G., Maciejewski, G., 2004b, AcA, 55, 97
 Popper, D.M., Jeong, Y.-C., 1994, PASP, 106, 189
 Renson, P., Gerbaldi, M., Catalano, F. A. 1991, A&AS, 89, 429-434
 SIMBAD Astronomical Database, <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>
 Schoeffel, E., Kohler, U. 1965, IBVS, 2, 100
 Spoelstra, T. A. Th.; van Houten, C. J. 1972, A&AS, 7, 83
 Strohmeier, W., Knigge, R., Ott, H. 1964, IBVS, 1, 66
 Strohmeier, W., Knigge, R., Ott, H. 1965, IBVS, 1, 81
 Strohmeier, W., Knigge, R., Ott, H. 1965, IBVS, 1, 115
 Tonry, J., Davis, M. 1979, AJ, 84, 1511-1525
 Wilson, R.E., Devinney, E.J., 1971, AJ, 166, 605
 Zola, S., ve ark., 2004, AcA, 54, 299-312
 Zola, S., ve ark., 2010, MNRAS, 408, 464-47